

**KÜÇÜK YERLEŞİM BİRİMLERİNDE HAREKETLİ
YATAKLI BİYOFİLM REAKTÖR VE KLASİK AKTİF
ÇAMUR PAKET ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN
VERİMLİLİĞİN İNCELENMESİ**

Kerem ERDİNÇ



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜÇÜK YERLEŞİM BİRİMLERİNDE HAREKETLİ YATAKLI BİYOFİLM
REAKTÖR VE KLASİK AKTİF ÇAMUR PAKET ATIKSU ARITMA
TESİSLERİNİN VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Kerem ERDİNÇ
ORCID NO: 0000 0001 6784 2024

Dr. Öğr. Üyesi. Berrak EROL NALBUR

ORCID NO: 0000 0002 0078 2722

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2019

TEZ ONAYI

Kerem ERDİNÇ tarafından hazırlanan “KÜÇÜK YERLEŞİM BİRİMLERİNDE HAREKETLİ YATAKLI BİYOFİLM REAKTÖR VE KLASİK AKTİF ÇAMUR PAKET ATIKSU TESİSLERİNİN VERİMLİLİĞİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi. Berrak EROL NALBUR

İmza

ORCID NO: 0000 0002 0078 2722
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Sevil ÇALIŞKAN ELEREN
ORCID NO: 0000-0002-8489-9214
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Aşkın BİRGÜL
ORCID NO: 0000-0002-7718-0340
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin AKSEL EREN
Enstitü Müdürü

25/12/2019

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

25/10/2019

Kerem ERDİNÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KÜÇÜK YERLEŞİM BİRİMLERİNDE HAREKETLİ YATAKLI BİYOFİLM REAKTÖR VE KLASİK AKTİF ÇAMUR PAKET ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Kerem ERDİNÇ

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği / Mühendislik Fakültesi Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Berrak EROL NALBUR

Hareketli Yataklı Biyofilm Reaktörler (HYBR), aktif çamur ve biyofilm sistemlerinin birlikte uygulanarak avantajlarının birleştirildiği hibrid proseslerden biridir. Bu çalışmada Bursa ilinde küçük yerleşim birimlerinde faaliyet gösteren paket hareketli yataklı ardışık kesikli biyofilm reaktörleri ile paket klasik aktif çamur sistemlerinin organik giderim verimliliği açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Benzer karakterli atıksuların arıtımı amacıyla işletilen tesislerden Hasanağa Paket Atıksu Arıtma Tesisi geleneksel aktif çamur sistemi olarak faaliyet gösterirken, Ekinli paket atıksu arıtma tesisi $650 \text{ m}^2/\text{m}^3$ yüzey alana sahip Polietilen sentetik taşıyıcı malzemesi (Aquaflex ®) içeren hareketli yataklı biyofilm reaktör ile çalıştırılmıştır. Aquaflex BioAqua sentetik taşıyıcı malzemesi, içinde 19 adet odacık bulunan, genişliği 10mm ve çapı 26mm olan HDPE (Polietilen) malzemeden üretilmiştir. Bir sene boyunca organik madde, azot ve fosfor giderimi açısından izlenen tesislerdeki giderim verimleri Mann-Whitney yöntemi ile istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. HYBR olarak çalışan Ekinli PAT'ta gözlemlenen BOİ giderimi %75, KOİ giderim verimi ise %65 olarak saptanmış olup, bu değerler klasik aktif çamur sistemi olarak çalışan Hasanağa PAT'ta ise %41 ve %45 olarak gözlemlenmektedir. Çalışma sonucuna göre, benzer özellikteki atıksularda eş hacimli ünitelerde HYBR ve aktif çamur sisteminin hibrid uygulamasının giderim verimine yüksek etkisi bulunmaktadır.

Anahtar Kelime : Hareketli Yataklı Biyofilm Reaktör, Paket Atıksu Arıtma Tesisi, Aktif Çamur

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFICIENCIES OF MOVING BED BIOFILM REAKTORS AND CLASSICAL ACTIVATED SLUDGE PACKAGE WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN SMALL RESIDENTIAL AREAS

Kerem ERDİNÇ

Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineer / Engineering Faculty

Supervisor : Dr. Öğr. Üyesi Berrak EROL NALBUR

Moving bed biofilm reactor (MBBR) is a hybrid biological wastewater treatment process which is combination of activated sludge and biofilm systems. MBBR system can allow to improve the efficiency of activated sludge system. In this study, we compared the efficiency of organic removal of package moving bed biofilm reactor and package conventional activated sludge systems in a small settlements in Bursa province. While the Hasanağa package waste water treatment plant operated as a moving bed biofilm reactor containing Polyethylene filling material (Aquaflex ®) with a surface area of 650 m²/m³. Aquaflex BioAqua filling material consist of biomedial made of HDPE (Polyethylene) material with 19 chambers, 10 mm wide and 26 mm diameter. For a year, organic matter, nitrogen and phosphorus removal was compared by Mann-Whitney Method. The BOD removal efficiency observed in Ekinli package treatment plant, working as MBBR, was found to be 75% and COD removal efficiency was found to be %65, and these values were observed as 41% and %45 in Hasanağa package treatment plant, which is a conventional active sludge system. According to the results of the study, hybrid application of HYBR and activated sludge system has a high effect on removal efficiency in waste water with similar properties.

Keywords: Moving Bed Biofilm Reactor, Package Wastewater Treatment Plants, Activated Sludge

TEŐEKKÖR

Bu alıŐma boyunca bana yardımcı olan, bu konunun belirlenmesinde bana esin kaynağı olan, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım danıŐmanım SayınDr. Öğr. Üyesi. Berrak EROL NALBUR'a teŐekkÖr ederim.

Ayrıca çalıŐmam boyunca bana her tÖrlÖ desteği sağlayan, bilgi ve birikimlerinden faydalandığım ASM Arıtma Sistemleri Genel MÖdÖrÖ Erkan Bey'e teŐekkÖre ederim.

Bu alıŐma boyunca teknik bilgi ve tecrÖbelerinden yararlandığım evre MÖhendisi Sayın Nurcan AYDOĐAN'a ve Sayın Damla BALABAN'a teŐekkÖr ederim.

Son olarak maddi ve manevi katkılarından ÖtÖrÖ eŐim Sevilay GÖLER ERDİNÇ'e ve aileme teŐekkÖr ederim.



Kerem ERDİNÇ
25/10/2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	i
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1.GİRİŞ	1
2.KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1.Hareketli Yataklı Biyofilm Reaktör (HYBR)	3
2.2.Hareketli Yatak Biyofilm Reaktörlerin Çalışma Prensipleri.....	4
2.3.Hareketli Yatak Biyofilm Reaktörlerde Biyofilm Oluşumu	5
2.3.1.Biyofilm Tanımı.....	7
2.3.2.Difüzyon ve Konsantrasyon Gradyanları.....	8
2.3.3.Biyofilm Bileşimi ve Yapısı	10
2.3.4.Biyofilm Büyümesi ve Ayrılması	11
2.4.Hareketli Yatak Biyofilm Reaktörlerinin Teknik Özellikleri	12
2.5.Hareketli Yatak Biyofilm Reaktörlerinin Avantajları ve Dezavantajları.....	13
2.6.HYBR'lerin Farklı Sistemlere Entegre Edilmesi.....	14
2.7.HYBR Prosesi Kullanılarak Yapılmış Çalışmalar	16
2.8.Paket Atıksu Arıtma Tesisleri.....	17
2.8.1.Paket Atıksu Arıtma Tesislerindeki Aktif Çamur Prosesi	18
2.8.2.Paket Atıksu Arıtma Tesislerinin Yararları ve Kullanım Alanları.....	20
2.9.Paket Atıksu Arıtma Tesislerinin Üniteleri.....	21
2.9.1.Izgara Kanalı.....	21
2.9.2.Ön Çöktürme Haznesi.....	22
2.9.3.Dengeleme Haznesi	22

2.9.4.Besleme Pompası	23
2.9.5.Biyolojik Reaktör.....	23
2.9.6.Tahliye Pompası.....	24
2.9.7.Hava Üfleyici (Blower) ve Otomasyon Kabini.....	24
2.9.8.Klor Dozaj Pompası	25
2.10.Paket Atıksu Arıtma Tesislerinin Maliyet Analizi.....	25
3.MATERYAL ve YÖNTEM	27
3.1.Atıksu Karakterizasyonu.....	27
3.2.Materyal ve Ekipmanlar.....	30
3.3.HYBR'lerin Kurulumu ve İşletim Yönetimi.....	31
3.4.Mann-Whitney Testi ile HYBR Verimlilik Tespiti	32
4.BULGULAR.....	39
5.TARTIŞMA ve SONUÇ.....	50
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

H_0	Sıfır Numaralı Hipotez
H_1	Bir Numaralı Hipotez
U_1	Bir Numaralı Test İstatistiği
U_2	İki Numaralı Test İstatistiği
Z	Test İstatistiği
μ	Veri setleri toplamının yarısı
$^{\circ}C$	Santigrat – Sıcaklık Ölçme Birimi
R_1	Birinci örneğe ait gözlemlerin sıralama puanları toplamı
R_2	İkinci örneğe ait gözlemlerin sıralama puanları toplamı

Kısaltmalar

Açıklama

HYBR	Hareketli Yataklı Biyofilm Reaktör
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
AKM	Askıda Katı Madde
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı,
N	Azot
P	Fosfor
Mg	Miligram
Lt	Litre
Gr	Gram
Cm ³	Santimetreküp
HDPE	Polietilen
N	Newton
Kw	Kilovat
HS	Hasanağa
EK	Ekinli
mSS	Basınç birimi
Db	Desibel
Mbar	Milibar

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. HYBR prosesinin genel görünüşü	5
Şekil 2.2. Biyofilmde büyüme hızlarına göre mikroorganizma dağılımları	6
Şekil 2.3. Biyofilm katmanları	7
Şekil 2.4. Difüzyon sınırlamalarının, biyofilm boyunca bir oksijen konsantrasyonu gradyanı yarattığı bir biyofilmin görüntüsü	9
Şekil 2.5. HYBR prosesi genel akış şeması	14
Şekil 2.6. Paket atıksu arıtma tesisi/tankı genel görünüşü	18
Şekil 2.7. Paket atıksu arıtma tesisi akış diyagramı	19
Şekil 2.8. Paket atıksu arıtma tesisi/tankı akış şeması	21
Şekil 2.9. Ön çöktürme haznesi	22
Şekil 2.10. Dengeleme haznesi	23
Şekil 2.11. Besleme pompası	23
Şekil 2.12. Biyolojik reaktör	24
Şekil 2.13. Hava Üfleyici (Blower)	24
Şekil 2.14. Otomasyon panosu	25
Şekil 2.15. Klor dozaj pompası	25
Şekil 3.1. Ekinli PAT harita görüntüsü	28
Şekil 3.2. Hasanağa PAT harita görüntüsü	29
Şekil 3.3. Aquaflex HYBR sentetik taşıyıcı malzeme ürün görseli	30
Şekil 3.4. HYBR olarak çalışan Ekinli paket atıksu arıtma tesisi akım şeması	31
Şekil 3.5. Bir aylık uygulamanın ardından HYBR yüzeyinde oluşan mikroorganizma	32
Şekil 4.1. Ekinli PAT'ın KOİ giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/l)	40
Şekil 4.2. Ekinli PAT'ın AKM giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/l)	41
Şekil 4.3. Ekinli PAT'ın Toplam Azot giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/l)	42
Şekil 4.4. Ekinli PAT'ın Toplam Fosfor giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/l)	43
Şekil 4.5. Hasanağa PAT'a KOİ giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/l)	44
Şekil 4.6. Hasanağa PAT'ın AKM giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/l)	45
Şekil 4.7. Hasanağa PAT'ın Toplam Azot giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/l)	46
Şekil 4.8. Hasanağa PAT'ın Toplam Fosfor giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/l)	47
Şekil 4.9. Hasanağa PAT ve Ekinli PAT'ın KOİ giderim verimlerinin (%) aylara göre değişimi	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Paket atıksu arıtma tesisi dizaynında dikkat edilen kriterler.....	26
Çizelge 2.2.100 m ³ /gün'lük paket atıksu arıtma tesisinin elektrik sarfiyat değerleri.....	26
Çizelge 3.1. Ekinli ve Hasanağa PAT'larının 2018 yılı boyunca ortalama giriş çıkış atıksu karakterizasyon tablosu.....	30
Çizelge 3.2 HYBR prosesi ile çalışan Ekinli paket atıksu arıtma tesisi KOİ giriş çıkış değerleri	34
Çizelge 3.3.HYBR'siz çalışan Hasanağa paket atıksu arıtma tesisi KOİ giriş çıkış değerleri....	35
Çizelge 3.4.Ekinli ve Hasanağa Paket Atıksu Arıtma Tesisi KOİ giderim verimi	35
Çizelge 3.5.Küçükten büyüğe doğru her gözlemin genel dizide kaçınıcı sırada yer aldığı belirlenir.....	36
Çizelge 3.6.Yeniden ele alınan sıralı dizi her verinin hangi örneğe ait olduğunun tespitinin ardından R1 ve R2 değerleri bulunur.....	37

1. GİRİŞ

Hareketli yataklı biyofilm sistemleri (HYBR) geri devir gerektirmeyen ve tüm ünite içinde biyokütle büyümesi gerçekleşen sistemlerdir. Taşıyıcılar üzerinde oluşan biyofilm, aerobik bir dış katman ve anoksik/anaerobik iç katman içerir. Bu sebeple, HYBR'ler organik karbonlu madde giderimi, nitrifikasyon ve azot giderimi için kullanılabilir (Leyva Diaz 2017, Ødegaard 2006). Bu sistemler, nitrifikasyon veriminin artışına direkt olarak etki ederler. Ekstrem sıcaklıklardaki atıksuların arıtımında kullanılabilirler (Lopez-Lopez 2012, Di Trapani ve ark. 2010, Barwaland Chaudhary 2014, Leyva Diaz 2017, Odegaar 1994).

Klasik aktif çamur sistemlerine kıyasla daha yüksek konsantrasyonda aktif biyokütle içerebilir ve aynı hacimde daha yüksek verimle çalışırlar. HYBR sistemlerinde sağlanan substrat gradyanı, çeşitli mikroorganizma popülasyonlarının gelişmesine yardımcı olabilir (Henze 2008, Odegaar 1994). Genellikle HYBR taşıyıcıların yüzeyinde biyofilm oluşturmak için mikroorganizmalar bakımından zengin atık su arıtma tesislerinden gelen çamurlarla aşılır (Ahmed 2016). HYBR'lerde sentetik taşıyıcı oranının hacimsel olarak %70'i geçmemesi önerilir (Ødegaard 2006). Piyasada çeşitli sentetik taşıyıcılar mevcuttur. Bu sistemlerde kullanılan sentetik taşıyıcılar, Polietilen Plastik (HDPE), Poliüretan sünger, Polipropilen Plastik (PP), granül aktif karbon gibi çeşitli tipte materyallerden üretilebilir (Metcalf ve Eddy 2014, Zhang 2016). HYBR sistemleri bir çökeltme tankı veya membran biyoreaktörü ile birleştirilebilir (Leyva Diaz 2017). Ayrıca bu tür sistemler kentsel atıksuların çeşitli endüstriyel atıksuların ve paket atıksu arıtma tesislerinin farklı işletme koşullarında kolaylıkla entegre edilebilir (Jiang 2017, Leyva Diaz 2017).

Aktif çamur prosesi, kolay işletilmesi ve çıkış suyu kalitesinin iyi olması nedeniyle tüm dünyada en yaygın kullanılan biyolojik arıtma prosesidir. Atıksu arıtma tesislerinde, nüfus artışı ve buna bağlı olarak debinin ve organik yükün artması nedeniyle projelendirmede öngörülen arıtma verimi zamanla düşebilmektedir. Artan organik yüke bağlı olarak düşen verimi artırmak amacıyla, aktif çamur prosesinde mikroorganizma konsantrasyonunu artırmak üzere son yıllarda havalandırma havuzuna sentetik taşıyıcı malzeme ilavesi ile oluşturulan hibrid sistemde askıda büyümeye ilave olarak bağlı büyüme de gerçekleştirilmektedir. Bu modifikasyon arıtma tesisinin verimini artırmak

konusunda olduğu kadar arıtma çamurunun miktarını azaltma açısından da oldukça önemlidir (Kulikowska ve ark. 2007). Bu tür hibrid sistemlerin ilk tam ölçekli uygulaması, 1975'te Philadelphia'da, biyodiskin aktif çamur havuzuna entegre edilmesiyle oluşturulmuştur (Guarino ve ark. 1980). Daha sonraki yıllarda, farklı firmalarca üretilen sentetik taşıyıcı malzemeler kullanılarak tesis iyileştirmesi ve ilave nitrifikasyon hedeflenerek çalışmalar yapılmıştır. Hibrid sistemlerin tesis iyileştirilmesinde uygulanabilir ve ekonomik sonuçlar vermesi ile atıksu arıtımında kullanımı yaygınlaşmıştır.

Geleneksel aktif çamur ünitelerini performansını iyileştirmek için mevcut kapasite artırımını sağlayan bu hibrid sistemler, hareketli yatak biyofilm reaktörler (HYBR) olarak adlandırılmaktadır (DiTripani 2013). HYBR'ler, kullanıldığı tankın her yerinde serbest dolaşım hareketi yaparak karıştırma veya havalandırma yoluyla hareket eden taşıyıcıların yüzeyine mikroorganizmaların yerleşerek büyütüldüğü biyolojik bir birimdir (Lopez 2012). HYBR sistemleri günümüzde dünyanın bir çok farklı ülkesinde klasikleşmiş aktif çamur ünitelerinin revizyon ve kapasite artırımını gibi projelerde kullanılmakta ve bu sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Zang 2016).

Bursa kentinin küçük yerleşim yerlerinde farklı kapasitede ve debide paket atıksu arıtma tesisleri mevcuttur. Ancak beklenmedik şekilde artan nüfus yoğunluğundan doğan yüksek kirlilik yüklerinden dolayı mevcut paket atıksu arıtma tesisleri istenilen verimlilikle çalışmamaktadır.

Bu çalışmada, Bursa'da küçük yerleşim yerlerinde işletilmekte olan HYBR'ler ile klasik aktif çamur paket arıtma verimliliğinin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Böylece, yeterli verimde çalışmayan klasik aktif çamur arıtma tesislerinin modifiye edilmesinde sentetik taşıyıcılar kullanılarak, tutulan biyokütlenin artırılmasının sistem verimliliğine etkisi tespit edilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Hareketli Yataklı Biyofilm Reaktör (HYBR)

Hareketli Yataklı Biyofilm Reaktörler (Moving Bed Biyofilm Reactor, HYBR) kullanıldığı tankın her yerinde serbest dolaşım hareketi yaparak karıştırma veya havalandırma yoluyla hareket eden taşıyıcıların yüzeyine mikroorganizmaların yerleşerek büyütüldüğü biyolojik bir birimdir (Lopez-Lopez 2012).

Hareketli Yatak Biyofilm Reaktör prosesi 1980'lerin sonlarında Kaldnes Miljiteknoloji (KMT) ile Norveç araştırma enstitüsü SINTEF'in işbirliği ile geliştirilmiş ve bu teknolojiye patentlendirilmiştir. Şu anda yaklaşık 45 ülkede evsel atıksu ve endüstriyel atıksu arıtımı amacıyla HYBR teknolojisi kullanılarak inşa edilmiş 400'den fazla atıksu arıtma tesisi vardır.

HYBR ile kullanılan sistemler 1999 yılında 17 farklı ülkede 90'dan fazla tesiste kullanılmakta idi (Ødegaard 1999). Ancak sonraki 10 yıllık süre içerisinde 50 ülkede ve 600'dan fazla tesiste kullanılan biyofilm bazlı bir biyolojik atıksu arıtma sistemi haline gelmiştir (Mc Quarrie ve Boltz 2011). HYBR sistemleri, belediye ve endüstriyel sistemleri yanı sıra, su ürünleri yetiştiriciliği ve içme suyu arıtma proseslerinde dahil kullanılmaktadır (McQuarrie ve Boltz 2011). HYBR sistemleri özellikle mevcut atıksu arıtma tesislerini (aktif çamur sistemlerini) mevcut hacimlerin yüklerini attırmada idealdir.

HYBR'de mikroorganizmalar reaktörde mekanik karıştırma veya havalandırma yoluyla askıdaki veya hareket halindeki taşıyıcılarda büyümektedir (Ødegaard ve ark. 1994). Çoğu taşıyıcı biyofilmler mikroorganizmaları taşıyacak boşluklu ve geniş korumalı yüzey alanı sağlamak üzere tasarlanmaktadır. HYBR'lerin kapasiteleri, taşıyıcıların hacimsel doluluk oranları değiştirilerek ayarlanabilmektedir. Böylece arıtma tesislerindeki giderim gereksinimleri karşılanır. Reaktördeki sürekli karıştırma, taşıyıcıların tıkanmasını önleme ve biyofilmde substrat alanının artırılması amacıyla taşıyıcıları sürekli hareket halinde tutar, böylece işlem kapasitesini artırır (Ødegaard 1999).

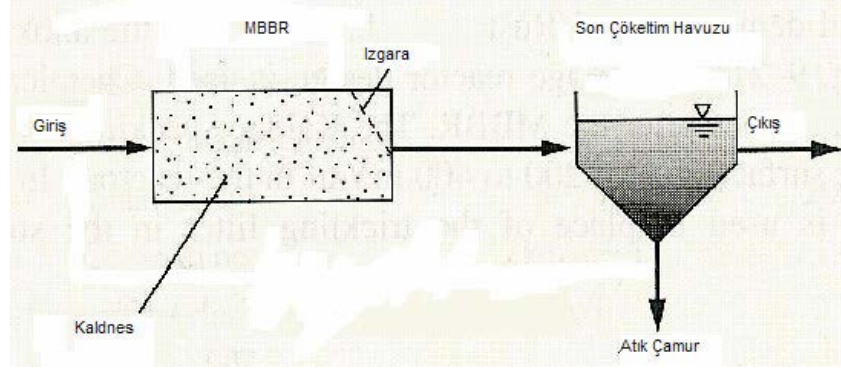
Taşıyıcılar, reaktör çıkışı üzerindeki elekler ile tutulur (McQuarrie ve Boltz 2011). Bu serbest dolaşım sebebi ile daha kısa hidrolik bekleme süresinde çalıştırılabilir ve bu nedenle aktif çamur sistemlere göre daha kompakt bir yapıya sahiptir (Javid ve ark. 2013, McQuarrie ve Boltz 2011, Ødegaard ve ark. 1994).

2.2. Hareketli Yatak Biyofilm Reaktörlerin Çalışma Prensibi

Hızlı kentleşme ve nüfus oranının artması ile doğru orantılı olarak her geçen gün meydana gelen atıksu kapasitesi tahmin edilenden daha fazla oluşmaktadır. Çevresel etkilerin olumsuzluğu ve yönetmeliklerin bu konuda ciddi yaptırımlar uygulamasından dolayı atıksu üreticileri deşarj kriterlerine uymak zorundadır (Qqan ve ark. 2017). Gelişmekte olan ülkelerde inşa edilen atıksu arıtma tesisleri artık konutlarla çevrelenmiş veya yoğun yerleşim arasında kalmıştır. Bu durum atıksu arıtma tesislerinin yatay olarak genişlemesini engellemiş ve kompakt atıksu arıtma ünitelerine ihtiyaç duyulmuştur. Geleneksel aktif çamur ünitelerini performansını iyileştirmek için yeni aerobik reaktörler inşa etmek bu gibi durumlarda mümkün olmayacağından dolayı mevcut kapasite artırımını HYBR kullanarak gidermeye çalışmak bu sorunun büyük bir kısmını çözmeye yardımcı olacaktır (Di Tripani 2013). HYBR sistemleri günümüzde dünyanın bir çok farklı ülkesinde klasikleşmiş aktif çamur ünitelerinin revizyon ve kapasite artırımını gibi projelerde kullanılmakta ve bu kullanım yaygınlaşarak devam etmektedir (Zang 2016). Ayrıca biyofilm sistemleri kentsel atıksuların çeşitli endüstriyel atıksuların ve paket atıksu arıtma tesislerinin farklı işletme koşullarında kolaylıkla entegre edilebilir (Jiang 2017, Leyva Diaz 2017). Genellikle HYBR taşıyıcıların yüzeyinde biyofilm oluşturmak için mikroorganizmalar bakımından zengin atık su arıtma tesislerinden gelen çamurlarla aşılır.

HYBR prosesindeki biyofilm büyümesini desteklemek için aerobik veya anaerobik tankta küçük silindirik şekilli polietilen (polyethylene) taşıyıcı elementler kullanılmaktadır. Piyasada çeşitli mikrobiyal taşıyıcılar mevcuttur (Ahmed 2016). Aerobik proseslerde taşıyıcı elementler havalandırma ile sirküle edilirken anaerobik proseslerde mekanik karıştırıcılar kullanılmaktadır. Ayrıca küçük sentetik taşıyıcı malzemelerin reaktörde tutulabilmesi amacıyla reaktör çıkışına kullanılan malzeme

boyutuna göre uygun boyutlarda elek konulmaktadır (Metcalf ve Eddy 2003). Sekil 2.1’de HYBR prosesinin şematik gösterimi verilmiştir.



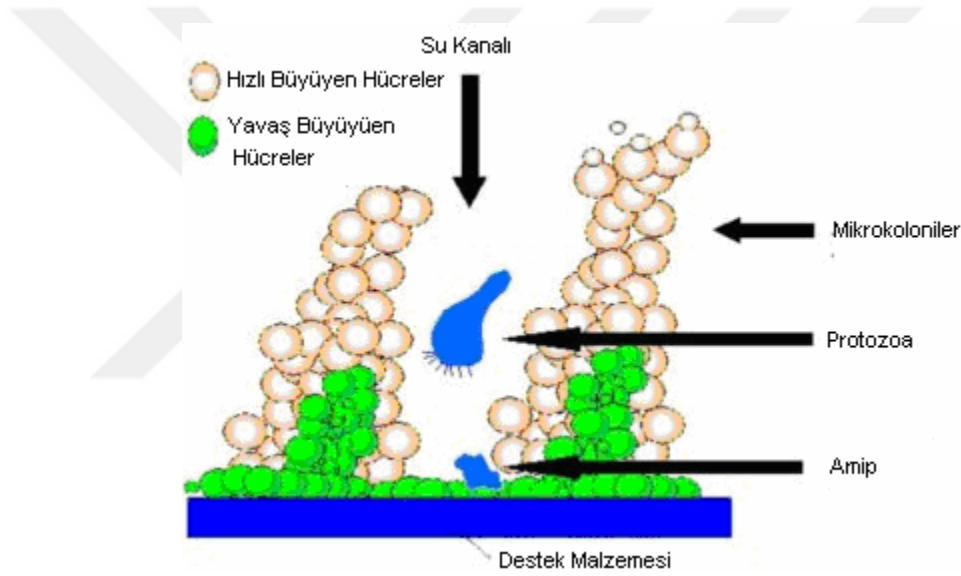
Şekil 2.1. HYBR prosesinin genel görünüşü

2.3. Hareketli Yatak Biyofilm Reaktörlerde Biyofilm Oluşumu

Biyofilm klasikleşmiş aktif çamur sistemlerine kıyasla daha yüksek konsantrasyonla aktif biyokütle içerebilir. Biyofilmden mevcut olan substrat gradyanları çeşitli mikroorganizma popülasyonlarının gelişmesine yardımcı olabilir (Henze 2008, Odegaaar 1994). Taşıyıcılar üzerinde oluşan biyofilm, aerobik bir dış katman ve anoksik/anaerobik iç katman içerebilir. Bu sebeple, HYBR’ler organik karbonlu madde giderimi, nitrifikasyon ve azot giderimi için kullanılabilir (Leyva Diaz 2017, Ødegaard 2006). HYBR’ler katı ve sıvı fazları ayırmıştır. Çamur geri dönüşümüne ihtiyaç duymaz ayrıca biyokütle büyümesi içinde tüm ünite hacmini kullanabilir. Sistemin kendi içerisinde sürekli mikserler veya havalandırma difüzörleri ile birlikte çalışması nedeniyle düşük yük kayıplarına sahiptir ve periyodik geri yıkama gerekmez. Nitrifikasyon veriminin artışında etkilidir. Ekstrem sıcaklıklardaki atıksuları arıtabilirler (Lopez-Lopez 2012, Di Trapani 2010, Barwal ve Chaudhary 2014, Leyva Diaz 2017, Odegaaar 1994).

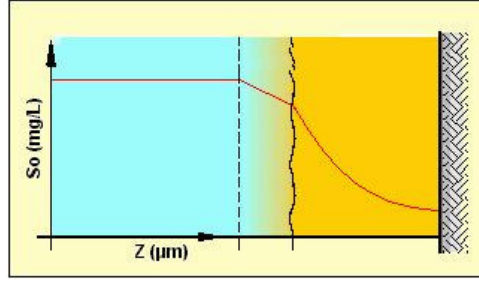
Biyofilm aktif çamura kıyasla daha yoğun ve kalındır. Substratın biofilm boyunca difüzyona uğraması fiziksel yapısı ile ilgilidir. Biofilm, mikrobiyal organizmalar, çeşitli polimerler ve bunların kalıntılarını içeren karmaşık yapılardan meydana gelmektedir (Li 2004).

Oksijen için yaşanan rekabetin bir sonucu olarak biyofilmde mikrobiyal popülasyon farklı bir dağılım göstermiştir (Li 2004). Heterotrofik bakterilerin daha yüksek büyüme hızları ve daha yüksek oksijen kullanma eğilimleri nitrifikasyon bakterilerinin aerobik tabakada baskın olmasını engellemektedir. Şekil 2.2’de mikroorganizmaların büyüme hızlarına göre destek malzeme üzerindeki yerleşimleri görülmektedir. Nitrifikasyon bakterilerine daha derinlerde rastlanmaktadır, oksijenin difüzyonu azaldığından nitrifikasyon sınırlanmaktadır. Bununla birlikte, KOİ yüklemeleri ya da KOİ/TKN oranı yüksek olduğunda, biyofilmin üst tabakasında nitrifikasyon bakterilerinin heterotroflar tarafından seyreltildiği dolayısıyla da amonyak oksidasyon oranının azaldığı belirtilmektedir (Okabe ve ark. 1995).



Şekil 2.2. Biyofilmde büyüme hızlarına göre mikroorganizma dağılımları

Hareketli yatak biyofilm reaktörlerde hidrolük kesme kuvvetinden dolayı karışım hızına bağlı olarak biyofilm kalınlığı değişmektedir. Karışım hızı arttıkça biyofilm kalınlığı azalmaktadır (Rodger ve Zhan 2003). Oksijen akısı biofilm kalınlığı ile doğru orantılıdır. Şekil 2.3’te biyofilm derinliği boyunca oksijen konsantrasyonunun azalması görülmektedir.



Şekil 2.3. Biyofilm katmanları

HYBR'lerin yüzey alanları ne kadar artarsa, yüzeysel organik yüklemeler ve biyofilm kalınlığı o kadar azalır. Böylece yüzeyde oluşan biyofilm tabakasının en derin noktasına kadar oksijen ulaşmış ve nitrifikasyon desteklenmiş olur. Biyofilmin tabakalaşması ile nitrifikasyon popülasyonu heteretrof tabakası yardımıyla korunur. Bu sayede oluşan nitrifikasyon kolayca kaybedilmeyecektir. Biyofilmde nitrifikasyon verimliliğinin yükselmesi için Daude ve Stephenson (2003) 40 günü yeterli bir süre olarak görürken, Orantes ve ark. (2002) biofilmin tam olarak kararlı hale gelebilmesi için 60 günlük hazırlık periyodunun olması gerektiğini savunmuşlardır.

2.3.1. Biyofilm Tanımı

Biyofilmler, neredeyse tüm sulu veya nemli ortamlarda yetişen katı yüzeylere yapışan mikroorganizma kümeleri olarak tanımlanmaktadır. Mikroorganizmalar, biyofilmi bir arada tutmak, bakterileri dehidrasyondan ve toksik maddelerden korumak ve biyofilminin substratlara yapışmasını kolaylaştırmak için mikroorganizmalar tarafından üretilen hücre dışı polimerik maddelerin bir bütünü olarak adlandırılır.

Çoğu durumda biyofilm oluşumu bir sıkıntı olarak kabul edilir; örneğin, diş plağı dişlerde biyofilm oluşumu olup diş çürümesine ve diş çürümesine neden olabilir ve su ve kanalizasyon borularında biyofilm oluşumu sonuçta tıkanma ve korozyona neden olabilir. Bazı durumlarda, örneğin biyofilmlerin vücudu enfeksiyonlara karşı koruyabildiği mikrobiyomda da faydalı olabilir (Robertson ve McLean 2015) ve biyofilmlerin en faydalı kullanımlarından biri de atık su arıtımıdır.

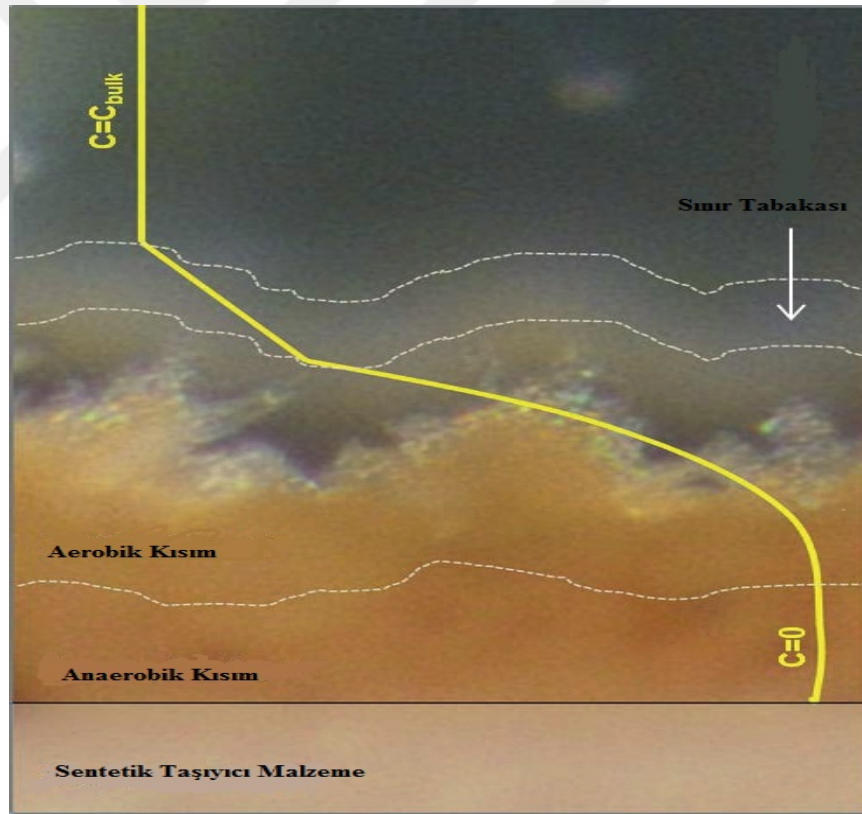
2.3.2. Difüzyon ve Konsantrasyon Gradyanları

Difüzyonun genellikle HYBR biyofilmlerinde ana taşıma mekanizması olduğu düşünülmektedir (Herrling ve ark. 2015, Rusten ve ark. 1992). Difüzyon konsantrasyon farkları ile tetiklendiğinden, substratlara erişim ve metabolitlerin biyofilm boyunca bertaraf edilmesi, biyofilm ve atıksu arasındaki konsantrasyon gradyanına bağlı olacaktır. Bakteriyel dönüşüm oranları, substratlara erişime dayandığından, HYBR'lerde arıtım verimliliği, difüzyon hızı ve atıksudaki substrat konsantrasyonu ile sınırlıdır (Boltz ve Daigger 2010).

Şekil 2.4'te sınırlı oksijen difüzyonunun bir sonucu olarak, biyofilmin en iç katmanlarında anaerobik bölgelerin oluşturulduğu bir biyofilm boyunca oksijen konsantrasyon gradyanını örneklemektedir. Biyofilmlerdeki oksijen penetrasyon derinliği, atıksu konsantrasyonuna, reaktör hidrodinamiğine ve biyofilm yoğunluğuna bağlı olup ve 50 ila 500µ m arasında değişkenlik göstermektedir(Gieseke ve ark. 2003, Hibiya ve ark. 2004; Horn ve Hempel 1995, Schramm ve ark. 1996).Şekil 2.4'te belirtildiği gibi, biyofilm bir sınır tabakası, yani biyofilmi çevreleyen durağan bir sıvı ile kaplıdır. Sınır tabakası kalınlığı, substratların biyofilme erişimi için kritiktir ve atıksu türbülansına bağlı olarak değişecektir (Masic ve ark. 2010). Biyofilmin yapısı ve kalınlığı akışı ve biyofilmi çevreleyen sınır tabakasını da etkileyerek substrat mevcudiyetini daha da etkileyebilir (Herrling ve ark. 2015).

Birçok çalışma, HYBR'lerde, özellikle çözünmüş oksijen ve/veya amonyum mevcudiyetinin işlemin genel aktivitesini sınırlayacağı nitrifikasyonla ilgili katı difüzyon sınırlamalarına işaret etmiştir (Christensson ve Welander2004, Gapes ve Keller 2009, Hem ve ark. 1994). Genel olarak, nitrifikasyon HYBR'leri sınırlı oksijen konsantrasyonlarında çalıştırılır ve çalışmalar, diğer substratların mevcut olması şartıyla nitrifikasyon oranlarınının 20 mg/L çözünmüş oksijen konsantrasyonlarına kadar kademeli olarak nasıl geliştirilebileceğini göstermiştir (Bonomo ve ark. 2000, Gapes ve Keller 2009). Bu artış, daha yüksek substrat mevcudiyeti nedeniyle bakterilerin spesifik aktivitesinin arttırılmasının yanı sıra, biyofilmin daha derin katmanlarında (yani daha derin bir oksijen penetrasyonu) bakterilerin aktivasyonunun artmasıyla açıklanabilir (Gieseke ve ark. 2003).

Difüzyon sınırlamaları nedeniyle, aerobik HYBR işlemleri, yeterli substrat mevcudiyetini sağlamak için genellikle aktif çamur işlemine göre daha yüksek çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında ve/veya daha yüksek karıştırma yoğunluklarında çalışmalıdır (Rosso ve ark. 2011). Bu, hem karıştırma hem de havalandırma, kayda değer miktarda enerji girişi gerektirdiğinden HYBR işleminin daha yüksek enerji gereksinimlerine neden olabilir. Ancak, difüzyon sınırlaması sıklıkla HYBR işleminin bir dezavantajı olarak kabul edilmesine rağmen, bir avantaj olarak kullanılabilir; Konsantrasyon gradyanı, aynı sistemde birçok farklı fonksiyonel grubun bir arada bulunmasını mümkün kılan birkaç farklı mikrobiyal niş ile sonuçlanacaktır. Ek olarak, biyofilmin daha derin katmanlarındaki mikroorganizmalar, işlem sırasında ani toksik bozulmalara daha az maruz kalacaklar ve bu da HYBR'yi mikrobik inhibisyona karşı askıda büyüme işlemlerinden daha esnek hale getirecektir (Borghesi ve Hosseini 2004).



Şekil 2.4. Difüzyon sınırlamalarının, biyofilm boyunca bir oksijen konsantrasyonu gradyanı yarattığı bir biyofilmin görüntüsü

2.3.3. Biyofilm Bileşimi ve Yapısı

Biyofilmlerdeki difüzyon gradyanlarına cevap olarak, farklı bakteri grupları sınırlı substratlar için rekabet edecek ve tabakalı bir biyofilm yapısı geliştirecektir (Zhang ve ark. 1994). Doğal olarak, aerobik bakteri biyofilmin üst katmanlarında büyürken, anoksik ve anaerobik bakteri daha derin katmanlarda gelişebilir. Ancak ek olarak, biyofilm boyunca farklı substrat gradyanlarının kombinasyonu, aynı zamanda bakterilerin çok benzer fonksiyonlarla birlikte varlığını mümkün kılan çok sayıda mikrobiyal niş oluşturacaktır (Gieseke ve ark. 2003).

Biyofilmin yapısı, yükleme hızı, çözünmüş oksijen ve reaktör hidrodinamiği gibi reaktör koşullarına bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir. Genellikle, biyofilm yapısı hızlı büyüyen organizmaların daha gözenekli biyofilmler oluşturduğu mikrobiyal popülasyona bağlıdır (Van Loosdrecht ve ark. 1997). Gözenekli bir yapı ayrıca yüksek substrat mevcudiyeti ile de indüklenirken, biyofilm yoğunluğu, türbülansın yüksek olması durumunda, biyofilm yüzeyi üzerinde yükselen bir kayma nedeniyle artabilir (Beyenal ve Lewandowski 2002, Van Loosdrecht ve ark. 1995).

Biyofilm yapısına bağlı olarak, substratların mevcudiyeti değişebilir; daha sert bir biyofilimde difüzyon hızı azalabilir (Beyenal ve Lewandowski 2000, Feng ve ark. 2012, Horn ve Morgenroth 2006). Kaba ve lapa lapa bir biyofilm yüzeyi biyofilm-sıvı ara yüzünü artırır, böylece substrat kullanılabilirliğini artırır (Li ve ark. 2016a). Doğal olarak, daha kalın bir biyofilm daha fazla biyokütle içerir ve bu nedenle, substrat kullanılabilirliğinin yüksek olması şartıyla daha yüksek bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte, düşük substrat mevcudiyetinde, ince bir biyofilm, sadece bir üst tabaka aktif olduğu için, kalın bir biyofilm kadar etkili olabilir. Biyofilmin aktif fraksiyonu, mikrobiyal tabakalaşma, difüzyon ve değişken biyofilm yapısı ve yoğunluğundan dolayı farklı işlemlerde değişecektir. Genellikle biyofilmin sadece küçük bir kısmı aerobik olarak aktiftir ve bu fraksiyon, biyofilm kalınlığı arttıkça düşebilir (Alpkvist ve ark. 2007, Ødegaard 1999). Bununla birlikte, daha kalın bir biyofilmin, daha büyük bir biyofilm gözenekliliği nedeniyle, daha ince bir biyofilme göre daha derin bir oksijen penetrasyon derinliğine sahip olabileceği gösterilmiştir (Hibiya ve ark. 2004, Zhang ve ark. 1995).

Kalınlık ve yapı gibi biyofilm özellikleri HYBR'nin performansını etkileyebilse de, reaktör performansını bu özelliklere göre karşılaştırma araştırmaları sınırlıdır. Daha önce biyofilm kalınlığını ve yapısını önceden belirlemek ve kontrol etmek için hiçbir araç olmadığından, HYBR performansını bu parametrelerle ilişkilendirmek ve güvenilir sonuçlar elde etmek amacıyla deneysel çalışmalar tasarlamak zor olmuştur. Bu sınırlı bilgi nedeniyle, HYBR'ler normal olarak yalnızca taşıyıcı yüzey alanına dayanarak, taşıyıcı tasarımından ve biyofilm özelliklerinden bağımsız olarak tasarlanır (Ødegaard ve ark. 2000).

Ancak sentetik taşıyıcı malzemelerin tasarımı, biyofilm kalınlığının belirlenmesinde etkilidir. Sentetik taşıyıcı malzemelerin yüzeyleri ne artarsa, yüzeyde oluşacak biyofilm kalınlığı da okadar azalacaktır. Böylece oksijenin en derin noktalara kadar ulaşacak ve böylece tasarıma direkt olarak etki edecektir (Zhu ve ark. 2015).

2.3.4. Biyofilm Büyümesi ve Ayrılması

HYBR taşıyıcılarında biyofilm oluşumu genellikle bağlanma, birikme, yeniden üretim ve olgunlaşmanın dört aşamasını izler (Zhu ve ark. 2015). Bununla birlikte, biyofilmlerin büyüme kalıpları dinamiktir ve bu nedenle spesifik bir biyofilm büyüme düzenini çoğaltmak pratik olarak imkansızdır (Lewandowski ve ark. 2004). Ek olarak, biyofilm kalınlığı ve yapısı operasyonel stratejilere ve sıcaklıktaki mevsimsel değişikliklere bağlı olarak değişebilir, burada biyofilm kütesinin artan spesifik aktiviteye bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda genel olarak azaldığı tespit edilmiştir.(Boltz ve Daigger 2010).

HYBR taşıyıcılarında biyofilmler büyüdükçe; birbirleriyle çarpışan ve sıyrılan taşıyıcıların neden olduğu aşınma, biyofilmi çevreleyen dökme sıvıdaki kesme kuvvetlerinin neden olduğu aşınma ve eğilmesinin neden olduğu sürekli bir biyokütle ayrılması meydana gelmektedir (Morgenroth ve Wilderer 2000). Aşınma ve erozyon, daha küçük parçacıkların biyofilm yüzeyinden sürekli olarak ayrılmasına neden olurken, eğilme rastgele gerçekleşebilir ve tüm biyofilm bölümlerinin taşıyıcı yüzeyden ayrılmasına neden olur (Horn ve ark. 2003).

Biyofilm sisteminin sabit durumda olduğu varsayılarak, biyokütlenin ayrılma oranı, biyofilm büyümesine eşit olarak kabul edilebilir. Bununla birlikte, çoğu HYBR sistemi için, kesme kuvvetleri zamanla değişecektir ve ayrılma buna göre değişecektir (Horn ve ark. 2003). Ayrılma nedeniyle, HYBR her zaman taşıyıcılara bağlı olmayan ancak yine de genel performansa katkıda bulunabilecek bazı askıya alınmış biyokütle içermektedir (Masic ve Eberl 2014). Bu katkının önemi, spesifik büyüme hızına ve mikroorganizmaların işlemdeki aktivitesine ve ayrıca yükleme hızına ve substrat konsantrasyonlarına cevaben değişecektir.

2.4. Hareketli Yatak Biyofilm Reaktörlerinin Teknik Özellikleri

HYBR'ler genellikle Polietilen Plastik (HDPE), polipropilen (PP), poliüretan sünger, granül aktif karbon gibi çeşitli tipte materyallerden imal edilebilmektedir (Medcalf ve Eddy 2014, Zhang 2016). Günümüzde çok farklı tipte HYBR'ler kullanılmaktadır. HYBR'de en önemli parametrelerden doluluk oranı ve spesifik yüzey alanı çok önemlidir. Taşıyıcı dolgu malzemelerinin kullanıldığı havuz içerisinde sertbest dolaşım hareketini yapabilmesi için doluluk oranı %70'i geçmemesi gerekmektedir. Doluluk oranı toplam reaktör hacminin %30-50 aralığında olmalıdır (Ødegaard 2006). HYBR bir çökeltme tankı veya membran biyoreaktörü ile birleştirilip, farklı proseslere de kolayca entegre edilebilme özelliğine sahiptir (Leyva Diaz 2017).

HYBR'lerin özgül ağırlığı da suyun özgül ağırlığından (1 gr/cm^3) düşük olmalıdır. Aksi halde taşıyıcı dolgu malzemeleri tamamen suyun yüzeyine çıkabilir veya tamamen dibe çökebilir. Ancak prosesin çalışma esnasında HYBR'lerin suyun içerisinde serbest dolaşım hareketi yaparak askıda kalmaları gerekmektedir. HYBR'lerin yüzeyi genellikle girintili çıkıntılı bir yapıya sahiptir. Genellikle silindirik dairesel tipte dolgu malzemelerinin kullanımı daha yaygındır ve içerisinde mikroorganizmaların tutunabilmeleri için küçük odacıklar mevcuttur. Taşıyıcı dolgu malzemelerin yüzeyleri ne kadar düz olursa mikroorganizmaların yüzeye tutunma olasılıkları o kadar düşük olmaktadır.

2.5. Hareketli Yatak Biyofilm Reaktörlerinin Avantajları ve Dezavantajları

HYBR sisteminin genel olarak avantajları aşağıda belirtildiği gibidir;

- Yüksek verimli organik karbon, azot ve fosfor giderimi,
- Çamur uzaklaştırma ile nitrifikasyon verim kaybının olmaması,
- HYBR tanklarında tam nitrifikasyon verimliliğinin elde edilmesi,
- Denitrifikasyon için efektif karbon kullanılması,
- Alandan tasarruf elde edilmesi ve mevcut konvansiyonel sistemlere göre %40 daha az alan ihtiyacı,
- Hava ihtiyacından %30' a varan tasarruf,
- Nitrat içsel geri devrinin olmaması,
- Geri kazanım için Membran Bioreaktör Sistemine (MBR) kolay entegre özelliği,
- Esnek reaktör dizaynı,
- Mevcut tesislerin kolay kapasite artırımının sağlanması,
- Çamur oluşumunun azalması,
- Geri yıkama gerektirmemesi,
- Taşıyıcı dolgu malzemesinin varlığından dolayı daha küçük kabarcıklı havalandırma ekipmanı kullanma gereksiniminin azalması,
- İşletim ve kontrolün kolay olması,
- Dolgu malzemesi kullanılan diğer sistemlere nazaran daha az yük kaybı artışı,
- Taşıyıcı dolgu malzemesi sayesinde nitrifikasyon bakterileri için gerekli olan yüksek çamur yaşının sağlanması,
- Çamur geri devrine gerek olmamasıdır.

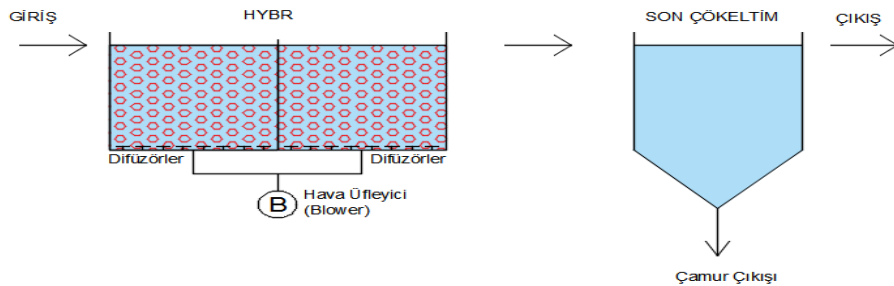
HYBR sistemlerinin dezavantajları arasında ise; kullanılan malzemeler genellikle her biri çok küçük çaplı ufak malzemelerdir. Bu durumdan dolayı bazen, tankların giriş çıkış noktalarına, mikserlere veya tahliye pompalarına temas edebilmektedirler. Bu teması kesme adına tankın giriş-çıkış kısımlarına mikserlerin ve pompaların çevrelerine paslanmaz elekler monte ederek, taşıyıcı dolgu malzemelerin teması kesilmiş olur.

2.6. HYBR'lerin Farklı Sistemlere Entegre Edilmesi

Hareketli Yataklı Biyofilm Reaktörler son yıllarda kapasitesi yetmeyen ve düşük verimlilikle çalışan arıtma tesislerinde çıkış suyu standartlarında belirtilen değerleri elde edebilmek adına ilave tesis inşa etmeden kullanımı yaygınlaşmıştır. Organik madde ve azot gideriminin hedeflendiği arıtma metodlarında oksijen en önemli faktörlerden biridir. Havalandırılmalı (Aerobik) bölgelerde HYBR'lerin tam karışımın sağlanması için havalandırma ekipmanlarını (difüzörleri) havuzun tabanına homojen bir şekilde yerleştirilmesi çok önemlidir. Böylece organik madde giderimi ve nitrifikasyon için uygun şartlar elde edilmiş olur. HYBR'ler oksijensiz (anoksik) bölgelerde de mikserlerveya çeşitli karıştırıcılar yardımı ile çalışmaktadırlar. Ancak oksijensiz havuzlara monte edilecek mikserlerin yönü ve açısı HYBR'lerin havuz içerisinde serbest dolaşım verimliliği için çok önemlidir.

Endüstriyel, evsel ve paket atıksu arıtma tesislerinde organik madde ve azot giderimi verimliliği, sentetik taşıyıcı malzeme kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. HYBR prosesi farklı şekillerde tasarlanabilmektedir.

Yeni kurulacak tesislerin projelendirilme safhasında veya mevcut tesislerin iyileştirilmesinde Şekil 2.5'te belirtilen tipik HYBR prosesi kullanılabilir. İyileştirme yapılacak olan tesislerde farklı reaktör tasarımları ile sentetik taşıyıcı malzemeler belirli doluluk oranlarında ilave edilir. Böylece HYBR prosesi elde edilmiş olur. Ayrıca maksimum kapasitede çalışan tesisler için ekonomik çözümler sunması ve alan ihtiyacının azalması nedeniyle de HYBR prosesi kullanılabilir.



Şekil 2.5. HYBR prosesi genel akış şeması

F/M'in yetersiz kaldığı veya hidrolik bekleme süresinin sağlanamadığı durumlarda yüksek nitrifikasyon verimliliği talep edilen aktif çamur proseslerinde, havalandırma havuzuna sentetik taşıyıcı malzemelerin ilave edilmesiyle istenilen çıkış suyu standartlarına erişilebilmektedir. Bu durum sentetik taşıyıcı malzemelerin belirli oranlarda aktif çamur havuzuna ilavesi ile oluşturulmuş aktif çamur modifikasyonu olarak karşımıza çıkmaktadır.

HYBR prosesinin aktif çamur ünitesinden daha önce kullanılması zaman zaman karşılaşılan bir durumdur. Genellikle bu tasarım endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılmaktadır. Deri, gıda, tekstil, boya, yağ, ilaç, petrol sanayisi gibi KOİ değeri yüksek atıksuların arıtılmasında aktif çamur prosesine verilmeden önce bağlı büyümenin avantajlarından yararlanılarak arıtma performansı için HYBR prosesi ön arıtım amacıyla kullanılabilir.

Azot giderimi için tasarlanan HYBR prosesleri bir adet oksijensiz (anoksik) bölge ve iki adet oksijenli (aerobik) bölgeden oluşmaktadır. Ön çöktürmeden gelen atıksu içerisindeki organik maddeler denitrifikasyon için gerekli karbon kaynağı olarak kullanılmaktadır. Birinci oksijenli bölgede karbonlu madde giderimi olurken, ikinci oksijenli bölgede nitrifikasyon gözlemlenir. Oksijensiz bölgeye ise ikinci oksijenli bölgede oluşan nitratın bir kısmı geri devir edilir.

Bir diğer yöntem ise, iki adet oksijenli ve bir adet oksijensiz bölgeden oluşmaktadır. Bu sistemde önce organik maddenin gideriminin gerçekleşmesi daha sonra nitrifikasyonun oluşması beklenir. Oksijensiz bölgede karbon kaynağı bittiğinden dolayı oluşan nitratın denitrifikasyona dönüşümü için karbon takviyesi yapılır. Karbon kaynağı olarak ise metanol veya etanol kullanılır.

İki adet oksijensiz bölge ve iki adet oksijenli bölgeden oluşan durumlarda ise ilk oksijensiz bölgede ön çökeltimden gelen atıksu içerisindeki organik maddeler ikinci aerobik bölgede oluşan nitratın geri devrettirilen kısmının denitrifikasyonu için karbon kaynağı olarak kullanılmaktadır. İkinci oksijensiz bölgede mevcut karbon bittiğinden dolayı karbon kaynağı olarak ilave edilen metanol veya etanol kullanılarak sonda denitrifikasyon işlemi ile verimli azot giderimi elde edilebilmektedir.

2.7. HYBR Prosesi Kullanılarak Yapılmış Çalışmalar

Andreottola ve ark. (2000) yaptığı bir çalışmada yüksek rakımlı bir bölgede düşük sıcaklıklarda çalışan bir atıksu arıtma tesisinde istenilen performans sağlanamadığı ve bu problemin çözümü için HYBR kullanılması uygun görülmüştür. Bir yıl boyunca HYBR'lerin çalışma performansı takip edilmiştir. %50 doluluk oranında taşıyıcı malzemenin havuzlara ilave edildiği çalışmada, çalışma süresince sıcaklık ortalama 5-20 °C arası farklılık göstermektedir. Hidrolik bekleme süresi 5 saatten fazla olduğu durumlarda daha iyi arıtma performansı göstermiştir. Tesis ortalama 7,9 gKOİ/m²gün organik yükleme ve 0,9 g NH₄-N/ m²gün amonyak yüklemesi ile çalıştırılmıştır. Karbon gideriminin %73, azot gideriminin de %72 olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan başka bir çalışmada, bir atıksu arıtma tesisine gelen atıksu debisi ortalama yarı yarıya evsel ve endüstriyeldir. Mevcutta çalışan klasik aktif çamur ünitesine paralel olarak HYBR prosesi de entegre edilmiştir. Organik madde gideriminde yakın sonuçlar gözlenirken, nitrifikasyon verimliliğinde HYBR prosesinde daha yüksek verim gözlemlenmiştir. HYBR prosesi klasik aktif çamur prosesine oranla daha düşük AKM konsantrasyonu saptanmıştır. Bu sebeple HYBR prosesinden sonra daha küçük ölçekli çökeltme tankı ile istenilen arıtma verimi elde edilebileceği belirtilmiştir. Ayrıca düşük sıcaklıklarda HYBR verimliliğinin daha yüksek olacağı da ek olarak belirtilmiştir.

Yapılan bu çalışma neticesinde sistemin verimliliğinin artırılması için klasik aktif çamur prosesi yerine HYBR prosesi kullanılmasının daha iyi olacağı belirtilmiştir (Hvala ve ark. 2002).

Bir diğer çalışmada ise HYBR prosesi kimyasal çöktürme ile birlikte kullanılmıştır. HYBR prosesi eş zamanlı nitrifikasyon ve denitrifikasyon olacak şekilde azot giderimi için test edilmiştir. Çözünmüş oksijen değeri yaklaşık 2 mg/L olarak ayarlandığında toplam azot giderimi %89 olmuştur. Kimyasal arıtmada ise farklı dozlarda demir II sülfat ilavesi yapılmıştır. BOİ, KOİ, toplam azot giderimi önemli derecede etkilenmezken artan dozlarla fosfor giderimi artmıştır (Wang ve ark. 2006).

Maurer ve ark. (2001) pilot ölçekli ve tam ölçekli olarak çalıştırdıkları tesislerde iki tür sentetik taşıyıcı malzeme kullanmışlardır. Bu çalışmada denitrifikasyon miktarlarını

karşılaştırmalı olarak araştırmıştır. Pilot tesisi kesikli çalıştırarak maksimum denitrifikasyon oranı ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Kolayca parçalanabilen asetatın karbon kaynağı olarak ilave edildiği ve ilave edilmediği durumlarda ayrıca analiz edilmiştir. Pilot ölçekli yapılan tüm çalışmalarda 30 mg/L nitrat, elektron alıcının sınırlayıcı olmaması için ilave edilmiştir. Asetatın ilave edildiği durumda her iki sentetik taşıyıcı malzeme için benzer sonuç bulunmuştur. Hacimsel denitrifikasyon oranları % 60 doluluk oranında plastik sentetik taşıyıcı malzeme (Kaldnes) için 441gN/m³.gün, sünger taşıyıcı malzeme için 420 g N/m³.gün olarak ölçülmüştür. Karbon kaynağının ilave edilmediği durumda ise hacimsel denitrifikasyon oranları arasında önemli fark oluşmuştur. Plastik (kaldnes) için 130 g N/m³.gün iken, sünger taşıyıcı malzeme için 194 g N/m³.gün olarak ölçülmüştür.

Avrupa'nın en büyük kağıt fabrikalarından birinin arıtma tesisinde HYBR prosesi kullanılarak yapılan çalışmada, mevcut atıksu arıtma tesisinin yarısı büyüklüğünde inşa edilen tesiste KOİ giderimi %51'den %90' çıkmıştır. Ortalama KOİ verimi %82 olmuştur. HYBR prosesi kullanılarak sistemdeki mikroorganizma oranı arttırılmıştır. Böylece F/M oranı 0,7'den 0,18 kgBOİ₅/kgTKH.gün'e inmiştir (Hansen ve ark. 1991).

Yapılan başka bir çalışmada biyolojik ve kimyasal arıtma ünitelerinin birlikte çalıştığı arıtma tesisine HYBR prosesi entegre edilmiştir. Yaklaşık altı haftalık süre boyunca belirli aralıklarda alınan numuneler analiz edilmiştir. Ortalama KOİ verimi %92, ortalama azot giderimi %32, fosfor giderimi de %96 olmuştur. Yapılan bu çalışma neticesinde küçük ölçekli atıksu arıtma tesisleri için HYBR prosesinin kullanımı yüksek verimli sonuçların elde edileceği belirtilmiştir (Ødegaard ve ark. 1993).

2.8. Paket Atıksu Arıtma Tesisleri

Sınırlı su kaynakları ve artan su talepleri karşısında atık suların geri kazanılması ve yeniden kullanılması konusu, sadece yoğun kentsel alanlarda değil, kırsal alanlarda da önem kazanarak her geçen gün yaygınlaşmaktadır (Üstün ve Solmaz 2008). Nüfusu 10.000 kişiye kadar olan yerleşim yerleri "küçük yerleşim yerleri" olarak adlandırılır. Bu bölgelerde, oluşan atıksu debisine bağlı olarak kanalizasyon inşasına ve arıtma sisteminin tipine karar verilir. Küçük yerleşim yerlerinde, atıksu arıtma sistemi seçiminde çeşitli faktörler etkilidir. Arıtma sisteminin seçimine karar verirken ilk

yatırım maliyeti, işletme maliyetleri, basitlik ve sürdürülebilirlik faktörleri dikkate alınmalıdır. Böyle yerlerde uygulamalar ya yerinde inşaat ya da paket arıtma şeklinde yapılmaktadır (Samsunlu 2011). Son yıllarda kasabalarda, köylerde ve turistik bölgelerde oldukça yoğun bir şekilde arıtma tesisleri yapılmaktadır. Bu tesisler nüfus yoğunluğuna göre paket arıtma veya düşük kapasiteli (10-2000 m³/gün) biyolojik atıksu arıtma tesisleri olarak imal edilmektedir ve büyük çoğunluğu aktif çamur sistemi ile işletilmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Paket atıksu arıtma tesisi/tankı genel görünüşü

Endüstri kuruluşlarında proseslerden veya evsel amaçlı kullanımdan kaynaklanan genellikle organik kirlilik derecesi ve toksisitesi olmayan atıksular biyolojik arıtma ile arıtılabilirler. Biyolojik arıtma sistemlerinin tasarımında; atıksu debisi, arıtımın özelliği, yatırım ve işletim maliyetleri göz önünde bulundurulur. Bu nedenle tasarım aşamasında tesisin betonarme veya paket olacağına karar verilir.

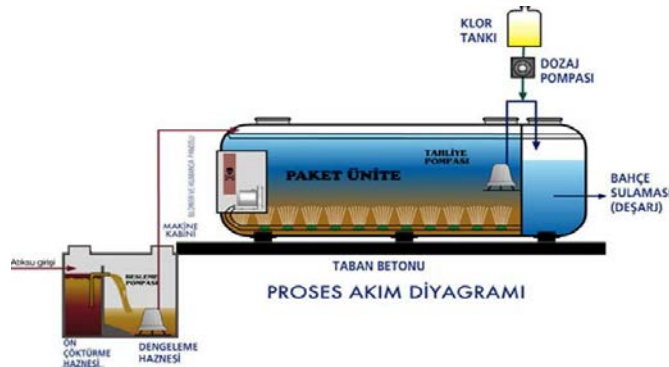
2.8.1. Paket Atıksu Arıtma Tesislerindeki Aktif Çamur Prosesi

Günümüzde yaygın olarak kullanılan Aktif Çamur Prosesi ilk olarak 1940'lı yıllarda İngiltere'de kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemde arıtımı gerçekleştiren mikroorganizmalar askıda büyüme özelliğine sahiptir. Aktif çamur prosesi, havalandırma havuzu ile son çökeltme havuzunun bir arada kullanıldığı procestir. Havalandırma havuzlarındaki biyolojik faaliyetler için gerekli oksijen yüzeysel havalandırma sistemleri veya hava difüzörleri ile sağlanır. Reaktör içeriği AKM veya UAKM olarak tanımlanır ve yüksek oranda mikroorganizmalardan, inert ve biyolojik olarak ayrışabilen maddelerden oluşur. Mikroorganizmalar, genellikle % 70 ila % 90

oranında organik, % 10 ila 30 oranında ise inorganik maddelerden meydana gelmektedir (Toprak 2000a).

Biyolojik arıtma, atıksu içerisindeki çözülmüş organik maddelerin bakteriler yardımıyla ayrıştırılarak giderilmesi işlemidir. Evsel atıksu arıtımında organik madde içeriğinin yanı sıra azot ve fosfor gibi besi maddeleri de biyolojik arıtımda giderilir. Arıtılmış su, dezenfeksiyon sisteminden geçirilerek alıcı ortama verilir ya da kum filtreden geçirilerek hidrofor sistemi yardımıyla bahçe sulamada kullanılır. Biyolojik paket atıksu arıtma sistemleri genellikle pompalar, difüzörler, blower ve dozaj pompaları, elektrik otomasyon sistemleri gibi ekipmanlardan oluşur. Sistemde kullanılan ekipmanlar, tanka akupile olarak üretilen işletme binasına monte edilir. Biyolojik paket arıtma tesisleri/tankları genellikle karbon çelik malzemeden üretilir ve işletme odası ile akupile olarak imal eder. Karbon çelik malzeme ile yapılan imalatları çift kat çift komponentli epoksi boya ile kaplanarak korozyona karşı korumaya alınarak imal edilir.

Son yıllarda birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de paket atıksu arıtma tesisleri gerek evsel gerekse endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle 10-400 m³/gün arasında değişen kapasitelerde yapılmaktadır. Hızlı kurulumları, tasarım safhasında daha az mühendislik hizmeti gerektirmesi gibi üstünlükleri sebebiyle tercih edilmektedir. Bu tesislerde en çok uygulanan prosesler, aktif çamur sistemlerinin uzun havalandırılmalı sistemleridir (Samsunlu, 2011). Atıksuyun karakterine göre tesisler biyolojik veya kimyasal proseslere göre dizayn edilebilmektedir. Paket atıksu arıtma tesisi akış diyagramı Şekil 2.7’de görülmektedir.



Şekil 2.7. Paket atıksu arıtma tesisi akış diyagramı

Aktif çamur sistemi temel olarak havalandırma havuzu ve son çökeltim havuzundan meydana gelmektedir. Aktif çamur prosesi havalandırma havuzu tasarımında reaktör tipi, çamurun beklenen çökeltme özellikleri, organik madde giderim verimi ve nitrifikasyon istenip istenmemesi dikkate alınır. Daha uzun bekletme süreleri nitrifikasyon bakterilerinin yeterli sayıda çoğalmalarını sağlar (Toprak 2000b).

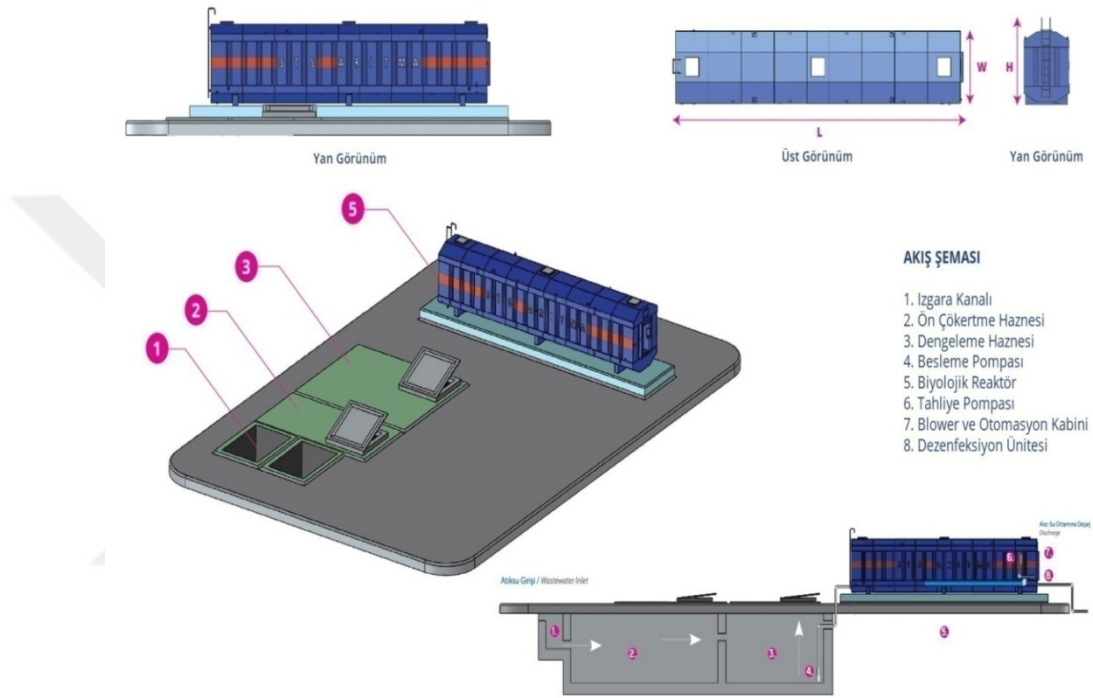
Havalandırmada başlıca iki metot kullanılır. Mekanik havalandırma ve basınçlı havalandırma. Mekanik havalandırmada, su yüzeyi karıştırılarak çalkantı ve dalgalar oluşturulur. Bu maksatla, pervane, türbin veya döner fırçalar kullanılır. Basınçlı havalandırmada difüzör kullanılır. Difüzör havayı küçük kabarcıklar halinde suya verir. Kabarcık çapı küçüldükçe, kabarcıkların toplam yüzey alanı arttığından oksijen transfer verimi artar. Havalandırma havuzundaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu, havalandırma havuzunda, son çökeltme havuzunda ve çamur geri devir hattında sadece istenen mikroorganizmaların bulunmasını sağlayacak düzeyde olmalıdır. Pratikte çözülmüş oksijen konsantrasyonunun 2-3 mg/L'den az olması, istenmeyen mikroorganizma tiplerinin baskın hale gelmesine, normal biyolojik aktivitelerin engellenmesine ve sonuçta çıkış suyu kalitesinin azalmasına neden olur. 3 mg/L'den fazla çözülmüş oksijen konsantrasyonu arıtma veriminde önemli bir artış yaratmaz, aksine elektrik enerjisinin gereksiz sarfiyatına sebep olur (Toprak 2000a).

2.8.2. Paket Atıksu Arıtma Tesislerinin Yararları ve Kullanım Alanları

Atıksu arıtma tesisi için ayrılan alan betonarme tesislere göre çok daha azdır. Bu sebepten dolayı da alan gereksinimi çok düşüktür. Montaj ve demontaj kolaylığı vardır. Genellikle tesisler görüntü kirliliği oluşturmaz. Paket tesisler personel istihdamına gerek kalmadan tam otomatik bir şekilde çalışır. Tesisin devreye alınması ve devreden çıkartılması kolaydır. Paket atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi kolaydır. İşletme ve bakım için uzman personel gerektirmez. Bu sebepten dolayı işletme maliyeti düşüktür. Paket arıtma tesisleri kokusuz ve gürültüsüz bir şekilde çalışır. Paket atıksu arıtma tesisleri genellikle; fabrikalarda, otellerde, yazlık sitelerde, üniversitelerde, askeri tesislerde, şantiyelerde, altyapısı olmayan yerleşim merkezlerinde, köylerde, beldelerde veya geçici yerleşim yerlerinde kullanılmaktadır.

2.9. Paket Atıksu Arıtma Tesislerinin Üniteleri

Biyolojik paket atıksu arıtma tesislerinde bulunan üniteler aşağıda Şekil 2.8’de gösterildiği gibi genellikle; ızgara kanalı, ön çöktürme haznesi, dengeleme haznesi, besleme pompası, biyolojik reaktör, tahliye pompası, hava üfleyici (Blower) ve otomasyon kabini ve son olarak da dezenfeksiyon ünitesinden meydana gelir.



Şekil 2.8. Paket atıksu arıtma tesisi/tankı akış şeması

2.9.1. Izgara Kanalı

Izgara kanalı paket artıma sistemi içinde ön çöktürme haznesinden önce yer alır. Sistemin giriş kısmındadır. Tesise gelen büyük çaplı malzemelerin tutulup bir sonraki kısımlara gitmesi engellenir. Izgara kanalına, imal edilen çubuk ızgaralar genellikle eğimli olarak yerleştirilir.

2.9.2. Ön Çöktürme Haznesi

Atıksu ile beraber tesise giren biyolojik olarak arıtılmayacak askıda katı maddeler havuz tabanında toplanır. Bu ünite sayesinde arıtma tesisi difüzör hatlarının ve sistem içerisinde çalışan pompa ve diğer ekipmanların katı maddelerden zarar görmesi önlenmiş olur. Havuz tabanında çökelen çamurun ortalama 4-5 ayda bir vidanjör ile uzaklaştırılması gerekmektedir. Ön çöktürme haznesi 100x400x250cm ebatlarında olup betonarme malzemelerden imal edilip Şekil 2.9’da belirtildiği gibi yer altına inşa edilmiştir.



Şekil 2.9. Ön çöktürme haznesi

2.9.3. Dengeleme Haznesi

Ön çöktürmeden geçen atıksular bu havuzda toplanarak homojen bir karışım elde edilir. Ayrıca pik debilerde atıksu miktarındaki dalgalanmaların önlenmesi ve biyolojik arıtma sistemine sahip miktarda atıksu iletiminin sağlanması amacıyla kullanılır. Dengeleme haznesi 400x500x250cm ebatlarında olup betonarme malzemelerden imal edilip Şekil 2.10’da belirtildiği gibi yer altına inşa edilmiştir.



Şekil 2.10. Dengeleme haznesi

2.9.4. Besleme Pompası

Yer altında bulunan dengeleme havuzundan, atıksuyun biyolojik reaktöre aktarılmasını sağlar. Dalgıç tipi pompa kullanılmış olup debisi $25 \text{ m}^3/\text{sa}$ 'tir. Şekil 2.11'de belirtilen dalgıç tipi motor basıncı 5 mSS değerinde olup motor gücü ise 0,75 kW'dır.



Şekil 2.11. Besleme pompası

2.9.5. Biyolojik Reaktör

Biyolojik atıksu arıtma ünitesi için gerekli olan havalandırma, çöktürme, dinlendirme havuzlarının ünite içerisinde tek bölmede, ardışık olarak gerçekleştirilmesi ve oluşan çamurun ise zamanla mineralize olarak minimum biyokütlede kalmasıdır. Paket ünite $220 \times 1000 \times 280$ cm ebatlarında olup St 37Çelik malzemedен imal edilmiştir. İki kat Mastik Epoksi boya ile boyanmıştır. Kabin kapakları sürgülü paslanmaz raylıdır. Ünite

içerisinde merdiven mevcuttur. Arıza durumunda ışıklı uyarı sistemi devreye girmektedir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Biyolojik reaktör

2.9.6. Tahliye Pompası

Atıksuyun biyolojik reaktörden alıcı ortama aktarımını sağlar. Tahliye pompası da dalgıç tipi pompalar yardımı ile yapılmaktadır. Debisi $25 \text{ m}^3/\text{sa}$, basıncı ise 5 mSS'dir. Motor gücü ise 0,75 kW'dır.

2.9.7. Hava Üfleyici (Blower) ve Otomasyon Kabini

Biyolojik reaktörün tabanına homojen bir şekilde dizili olan difüzörler için gerekli oksijen hava üfleyiciler (blowerlar) tarafından sağlanır. Şekil 2.13'te belirtildiği gibi hava üfleyicinin kapasitesi $300 \text{ m}^3/\text{sa}$ olup basıncı 250 mbar'dır. Motor gücü 5,5 kW ve gürültü seviyesi 73 Db'dir.



Şekil 2.13. Hava Üfleyici (Blower)

Ayrıca paket atıksu arıtma tesisinin bütünü otomasyon sistemi sayesinde uzaktan da yönetilebilmektedir. Şekil 2.14'te belirtildiği gibi polyester malzemeden imal edilmiştir. Motor koruması ise termik ve manyetik özelliktedir.



Şekil 2.14. Otomasyon panosu

2.9.8. Klor Dozaj Pompası

Arıtılmış su, dezenfekte edilmek üzere bu üniteye aktarılır. Dezenfektan olarak %10'luk Sodyum Hipoklorit kullanılabilir. Kullanılan klor dozaj pompası Şekil 2.15'te belirtildiği gibi olup diyaframlı tipte kullanılmıştır. Kapasitesi 0-5 lt/sa ve basıncı ise 5 Bar'dır. Motor gücü ise 0,09 kW'dır.



Şekil 2.15. Klor dozaj pompası

2.10. Paket Atıksu Arıtma Tesislerinin Maliyet Analizi

Paket atıksu arıtma tesisleri/tankları epoksi boyalı ve çelik gövdeli imal edilirler. Bunun yanı sıra, havalandırma bölümünde difüzörler mevcuttur. Durultma bölümü, aerobik çamur çürütme bölümü, vanalar, pompalar ve hava üfleyiciler(blowerlar), elektrik kontrol paneli ile birlikte komplike çalışan bir sistemdir. Yaklaşık 100 m³/günlük bir paket atıksu arıtma tesisinin maliyeti 13.750,00 USD'dir. Paket Atıksu Arıtma

Tesislerinin dizaynı genellikle Çizelge 2.1’de belirtilen değerler doğrultusunda gerçekleşir. Kişi başı günlük su tüketimi 200 litre baz alınarak ilgili hesaplamalar yapılır. HYBR ise m³ cinsinden fiyatlandırılmaktadır. Bir metreküp HYBR ortalama 300 Euro’dur. Ekinli PAT için toplamda 10 m³ HYBR kullanılmıştır.

Çizelge 2.1. Paket atıksu arıtma tesisi dizaynında dikkat edilen kriterler

Nüfus Eşdeğeri (Kişi)	Atıksu Debisi (m ³ /gün)	Organik Yük (kgBOİ5/gün)	Paket Tank Boyutları (m)	Kurulu Güç (kW)
50	10	3	1.5x2x2	3,10
100	20	5	1.5x3x2.5	3,10
200	40	12	2x5x2.5	3,80
300	60	18	2x7x2.5	4,90
400	80	24	2.4x7.5x2.5	6,50
500	100	30	2.4x9x2.8	8,50
600	120	36	2.4x10x2.8	12,00
700	140	42	2.4x11x2.8	12,00
800	160	48	2.4x12x2.8	12,00
900	180	54	2.4x13x2.8	12,00
1000	200	60	2.4x13.4x2.8	12,00

Paket atıksu arıtma tesisleri kolay kurulum ve montaj kolaylığının yanı sıra işletme maliyetleri açısından da uzaktan kumanda edilebilme özelliğinden dolayı düşük maliyetli sistemlerdir. Çizelge 2.2’de belirtildiği gibi kurulu güce bağlı olarak değişen elektrik giderleri, düzenli olarak alınan numuneler ve bu numunelerin test edilmesi, ilgili personelin paket arıtma tesisine gidip gelirken geçirdiği sürelerin hepsi işletme maliyetine dahildir. Ortalama 100 m³/günlük bir paket atıksu arıtma tesisi için ortalama maksimum 3.000 TL elektrik sarfiyatı, 1.000 TL klor ilavesi ve 1.000 TL genel gider olarak düşünüldüğünde aylık işletme maliyeti 5.000 TL’dir.

Çizelge 2.2. 100 m³/gün’lük paket atıksu arıtma tesisinin elektrik sarfiyat değerleri

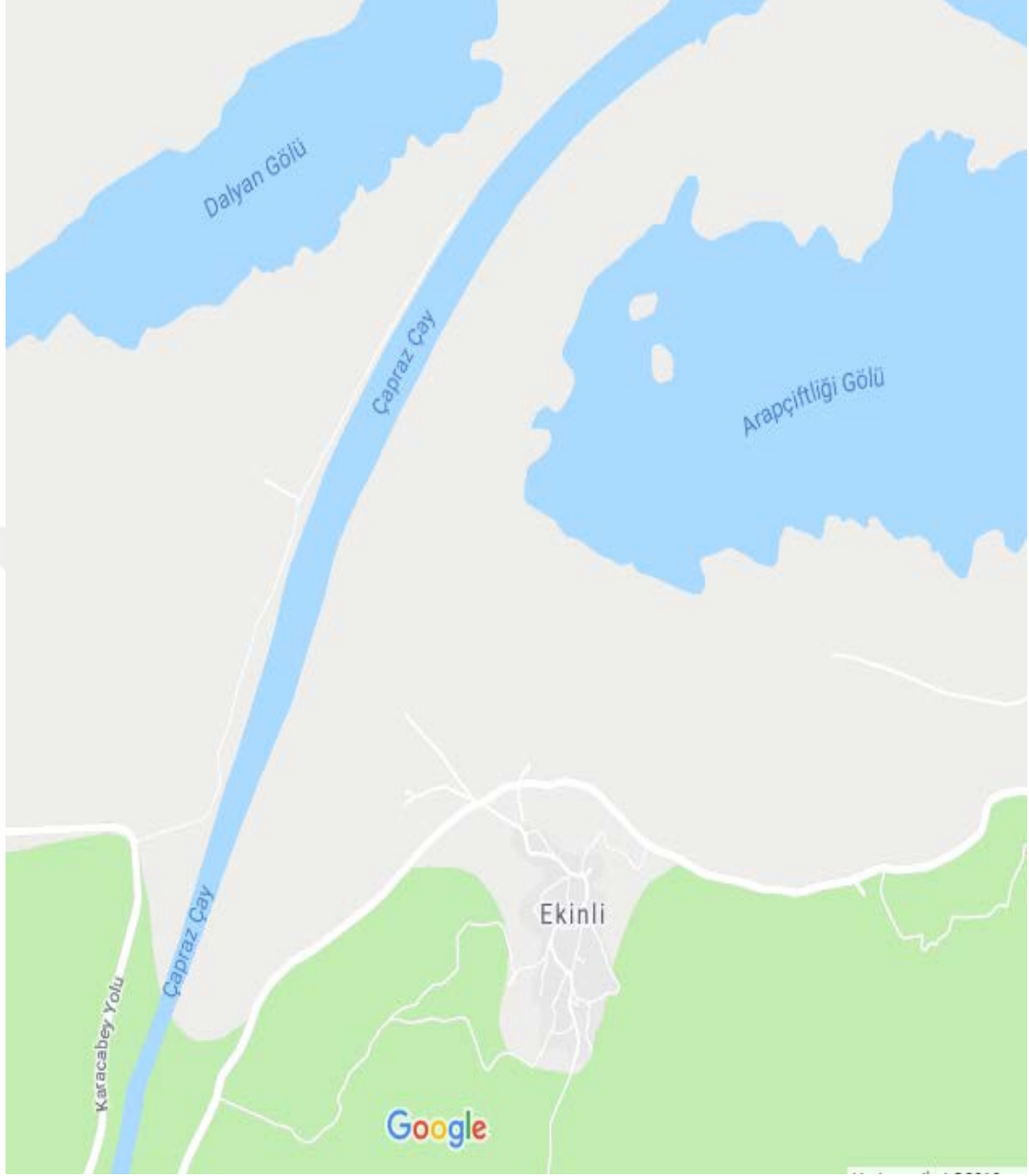
Ekipman İsimleri	Güç (kW)	Günlük Maksimum Çalışma (sa)	Günlük İşletme Gücü (kW)	Kurulu Güç (kW)
Besleme Pompası	0,75	4	3	0,75
Blower	5,5	16	88	5,5
Tahliye Pompası	0,75	4	3	0,75
Klor Dozaj Pompası	0,025	4	0,1	0,025
		TOPLAM	94,1	7,025

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Atıksu Karakterizasyonu

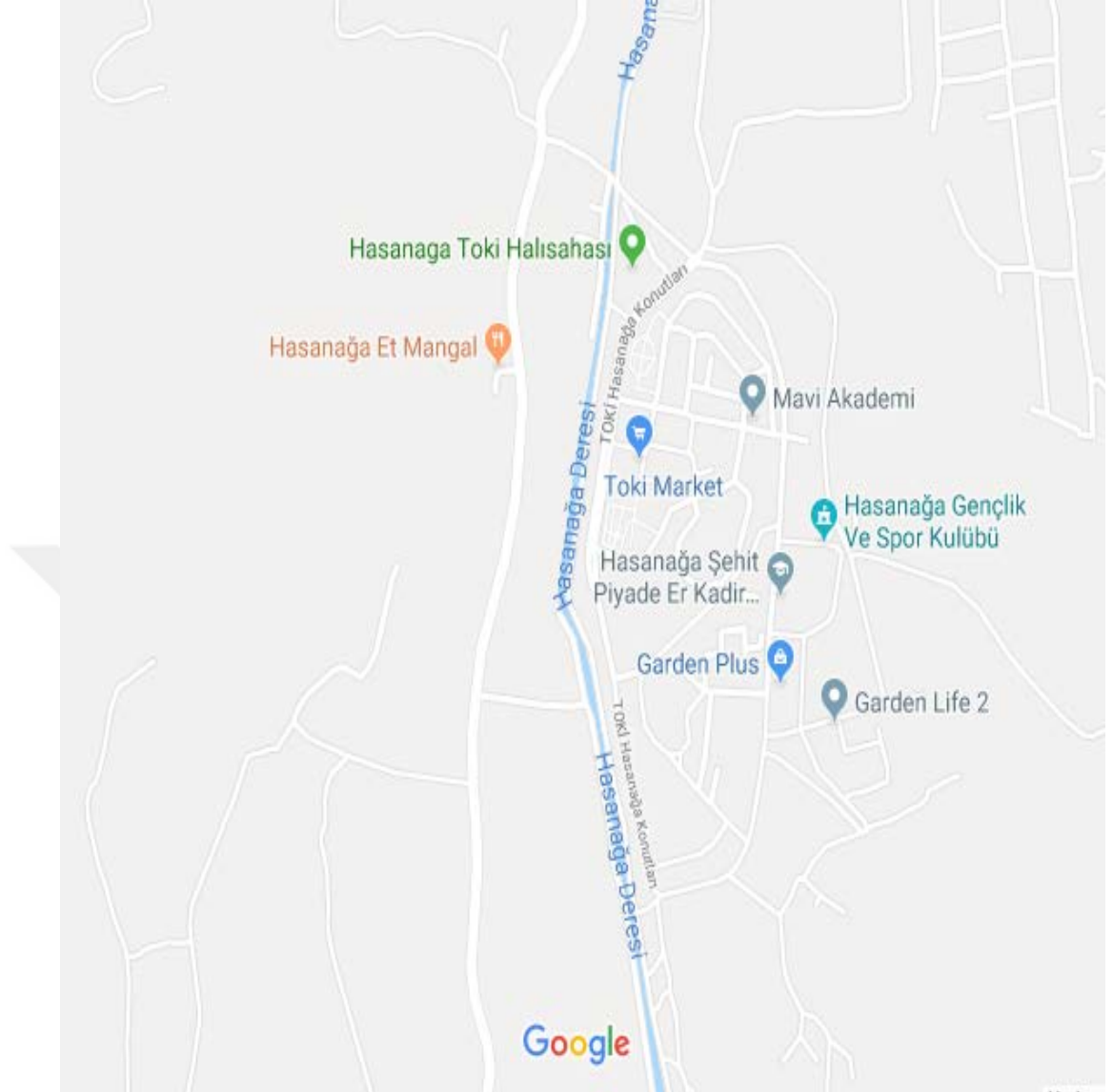
Ekinli Mahallesi, Bursa ili Karacabey ilçesine bağlı alıcı ortamı Dalyan Gölü olan bir yerleşim birimidir. Dalyan Gölü; Karacabey ilçesi Kocaçay Deltası'nda bulunmakta olup, yapısı itibariyle önemli bir lagün gölüdür. Göl, denizden bir kum kordonu ile ayrılmıştır ve diğer sınırı Arap Çiftliği Gölü'dür. Kış aylarında yükselen deniz suları göle girmektedir. Gölde kıyıya yakın sularda ağ ve kazıklarla oluşturulan balık avlama bölgeleri bulunmaktadır. Ekinli Mahallesi gölün güneyinde yer almaktadır. Bölgede hayvancılık yapılmakta, bu nedenle zaman zaman atıksu arıtma tesisine hayvansal atık girişi gözlemlenmekte ve bu da dönemlik olarak Ekinli PAT'ın giriş atıksu değerlerinin tasarım limitlerinin üzerine çıkmasına neden olmaktadır. Ekinli PAT 500 eşdeğer nüfus için tasarlanmıştır.

Hasanağa PAT ise Nilüfer ilçesi TOKİ toplu konutlarının atıksularını arıtmak üzere inşa edilmiş bir tesistir. Sistemde atıksu, sepet tipi kaba ızgaradan geçerek içerisindeki çöp ve kaba partiküllerden ayrılarak dengeleme havuzuna gelmekte, ardından seviye kontrollü dalgıç pompalar yardımı ile organik madde giderimi gerçekleştirilecek olan aerobik biyolojik arıtma tankına iletilmektedir. Arıtılmış sular tesis yakınındaki Hasanağa Deresi'ne deşarj edilmektedir. Hasanağa PAT 1201 daireden oluşan bir proje olan Hasanağa TOKİ için yapılmış olup 5000 eşdeğer nüfusa göre tasarlanmıştır.



Şekil 3.1. Ekinli PAT harita görüntüsü

Şekil 3,1’de görüldüğü üzere, Ekinli PAT konum olarak Bursa ili Mudanya ilçesinin 40 km ilerisinde İzmir yolunun paralelinde bulunmaktadır. Yakınında Arapçiftliği Gölü ve Dalyan Gölü vardır. Ekinli PAT direkt olarak Çapraz Çay’ına deşarj olmaktadır. Çapraz Çay’ı da Marmara Denizine dökülmektedir.



Şekil 3.2 Hasanağa PAT harita görüntüsü

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere, Hasanağa PAT konum olarak Bursa ili Hasanağa ilçesinde bulunmaktadır. Yakınında Hasanağa deresi vardır. Hasanağa PAT direkt olarak Hasanağa Deresine deşarj olmaktadır. Hasanağa deresi de Nilüfer Çayı ile bağlanmaktadır. Bu çalışmada Bursa Su Kanalizasyon İşleri Genel Müdürlüğü (BUSKİ) tarafından işletilen Ekinli ve Hasanağa PAT’ları 2018 yılı boyunca 12 Ay süresince izlenmiş, BUSKİ tarafından belirli periyotlarda alınan giriş-çıkış suyunu Standart Metodlara göre (Apha 1998) gerçekleştirilen analizlere göre atıksu karakterizasyonu Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ekinli ve Hasanağa PAT'larının 2018 yılı boyunca ortalama giriş çıkış atıksu karakterizasyon tablosu

	Ekinli PAT Giriş	Ekinli PAT Çıkış	Hasanağa PAT Giriş	Hasanağa PAT Çıkış
Ortalama Debi (m ³ /gün)	100		408	
Su Sıcaklığı (°C)	17,5	18,2	18,7	18,2
pH	7,39	7,73	8,18	7,92
BOİ ₅ (mg/L)	201	38	254	188
KOİ (mg/L)	498	81	559	272
AKM (mg/L)	408	64	195	112,9
Top. N (mg/L)	41	31	96	53
Top. P (mg/L)	5	2	9,9	5,2

3.2. Materyal ve Ekipmanlar

Çalışmada benzer kapasitede tasarlanmış olan Hasanağa PAT klasik aktif çamur sistemi olarak işletilirken, Ekinli PAT AquaflexBioAqua sentetik taşıyıcı Şekil 3.3'de belirtildiği şekilde kullanılarak HYBR'ye dönüştürülmüştür.

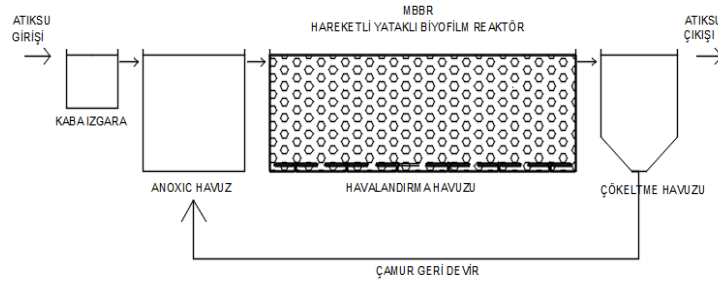


Şekil 3.3. Aquaflex HYBR sentetik taşıyıcı malzeme ürün görseli

Sentetik taşıyıcılar Polietilen Plastik (HDPE), polipropilen (PP), poliüretan sünger, granül aktif karbon gibi farklı tipte materyallerden imal edilebilmektedir (Metcalf and Eddy 2014, Zhang 2016) Aquaflex BioAqua sentetik taşıyıcı HDPE (Polietilen) malzemenin üretilmiş olup sentetik taşıyıcı malzemenin yüzey alanı $650 \text{ m}^2/\text{m}^3$ değerindedir. Aquaflex sentetik taşıyıcıların çapı 26 mm, genişliği ise 10mm'dir. Mevcut araştırmada kullanılan sentetik taşıyıcılar silindirik tipteki sentetik taşıyıcı malzemelerden seçilmiştir. HYBR yüzeyinin özel kıvrımlı yapısı sayesinde atıksuyun içerisindeki mikroorganizmalar zamanla bu yüzeye tutunarak, biyofilm tabakası meydana getirmektedir. Havalandırma havuzu içerisinde serbest dolaşım yapan HYBR'lerin her bir odacığı zamanla mikroorganizma ile dolacaktır ve böylece nitrifikasyon verimliliğini arttıracaktır.

3.3. HYBR'lerin Kurulumu ve İşletim Yönetimi

Ekinli PAT'ın havalandırma havuzuna 5 m^3 sentetik taşıyıcı eklenerek sistem HYBR olarak modifiye edilmiştir. Sentetik taşıyıcı malzeme ilave edilen kısmın hacmi 50 m^3 'tür. Böylece havuz hacminin %10'u kadar sentetik taşıyıcı malzeme yüklemesi yapılmıştır. Sentetik taşıyıcı malzemelerin reaktörün içinde homojen dağılımı hava difüzörleri sayesinde gerçekleşir. Sentetik taşıyıcıların HYBR'lerde farklı bölgelere dağılmasını önlemek için havalandırma havuzu giriş çıkış kapaklarına, tahliye pompalarının etrafına elek yerleştirilir (Borghesi ve Hosseini 2004). HYBR'de, havalandırma ve karıştırma havuz tabanına döşenmiş ince kabarcıklı tüp difüzörler ile gerçekleştirilmiştir. HYBR olarak modifiye edilen Ekinli PAT'ın akış diyagramı Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. HYBR olarak çalışan Ekinli paket atıksu arıtma tesisi akım şeması

Difüzörlerle havalandırarak karıştırma işlemi ile sentetik taşıyıcı malzeme havalandırma havuzu içerisinde sürekli hareketli olmasına ve havuzun her noktasına ulaşarak daha çok biyokütle ile karşılaşarak üzerinde tutması hedeflenmektedir. HYBR’lerde tank havuz hacminin yaklaşık %30-50’si oranında sentetik taşıyıcı malzeme kullanımı önerilmektedir (Zhang 2016). Ekinli PAT’ın toplam havalandırma havuz hacmi 50 m³tür. Sistem HYBR olarak modifiye edilirken ilk aşamada havuz hacminin %10’u oranında bir sentetik taşıyıcı malzeme kullanımı ile verim değerlendirilmesi hedeflenmiştir. HYBR işleme alındıktan bir ay sonra sentetik taşıyıcı malzemenin üzerinde biyofilm oluşumu gözlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Bir aylık uygulamanın ardından HYBR yüzeyinde oluşan mikroorganizma

3.4. Mann-Whitney Testi ile HYBR Verimlilik Tespiti

İstatistiksel Analizler SSPS Software, version18.0 (SSPS Inc. Chicago, IL, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Klasik PAT ve HYBR PAT verimleri arasındaki farkı istatistiksel olarak belirlemek üzere Mann-Whitney testi uygulanmıştır. Uygulanan analizlerde istatistiksel anlamlılık $p= 0.05$ ve güven aralığı %95’tir.

n1 ve n2 hacimli bağımsız iki örneğin sıralama ya da aralıklı ölçekle elde edilmiş verilerinin aynı medyanlı popülasyondan alınmış rastgele örnekler olup olmadığını test etmek için Mann-Whitney U testi kullanılır. Bağımsız iki örneklem t testinin parametrik olmayan alternatifidir. Mann-Whitney U testinde test edilen hipotezler aşağıdaki gibidir.

H0: n1 ve n2 veri setleri aynı medyanlı dağılıma sahiptir.

H1: Örnekler farklı medyanlı dağılımların örnekleridir.

H1: n1 veri setinin gözlemlerinin yarısından fazlası diğer setten farklıdır.

H1 : $P(a>b) \neq \frac{1}{2}$

U testi uygulamak için n1 ve n2 hacimli iki örnek bir tek dizi (genel dizi) haline getirilir ve dizideki gözlemlerin sıralama puanları bulunur. Küçükten büyüğe doğru her gözlemin genel dizide kaçınıcı sırada yer aldığı belirlenir. Sıralı Dizi yeniden ele alınır ve her verinin hangi örneğe ait olduğu dikkate alınarak sıralama puanları örneklere göre toplanır.

1.örneğe ait gözlemlerin sıralama puanları toplamı R1,

2.örneğe ait olanları toplamı R2 bulunur. Birim sayıları ve toplam sıralama puanlarından yararlanarak U1 ve U2 test istatistikleri hesaplanır.

U1 ve U2 test istatistikleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$U1 = n1 \times n2 + \frac{n1 \times (n1+1)}{2} - R1 \quad (3.1)$$

$$U2 = n1 \times n2 + \frac{n2 \times (n2+1)}{2} - R2 \quad (3.2)$$

U1 ve U2'den küçük olanı U test istatistiği olarak alınır.

Eğer $U1 \leq U2$ ise $U=U1$,

$U1 > U2$ ise $U=U2$ alınır.

$n1 > 20$ ve $n2 > 20$ ise U'nun önemliliği normal yaklaşımla bulunur. Bunun için U'nun ortalama ve standart sapması bulunur ve z test istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$z = \frac{U - \mu_u}{\sigma_u} = \frac{U - \frac{(n1 \times n2)}{2}}{\sqrt{\frac{[(n1 \times n2) \times (n1+n2+1)]}{2}}} \quad (3.3)$$

Z test istatistiği N(0,1) parametrelili standart normal dağılım gösterir ve önemliliği aşağıdaki gibi belirlenir.

$|Z| < 1.96$ ise $P > 0.05$ ns H0 Kabul

$|Z| \geq 1.96$ ise $P < 0.05$ * H0 Red

$|Z| \geq 2.58$ ise $P < 0.01$ ** H0 Red

$|Z| \geq 3.28$ ise $P < 0.001$ *** H0 Red

Ekinli ve Hasanağa PAT'lar ile ilgili 2018 yılı içerisinde her ay düzenli olarak ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerde genel olarak BOI_5 , KOI , sıcaklık, pH, iletkenlik, AKM, Toplam Azot(N), Toplam Fosfor(P) gibi değerler analiz edilmiştir. Ekinli ve Hasanağa PAT'ları ile ilgili giriş-çıkış verimlilik oranları gösteren değerler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. HYBR ile çalışan Ekinli PAT ile HYBR bulunmayan Hasanağa PAT ile ilgili 2018 yılının her ayında alınan 12 farklı numune örneğinin KOI giriş çıkış değerlerinin mg/l'te cinsinde aşağıda belirtilen tablolarda görüldüğü gibidir. Her iki tesisin değerlerini Mann-Whitney U testi ile istatistiksel olarak karşılaştırması yapılmıştır. HYBR olarak çalışan Ekinli PAT KOI giriş çıkış değerlerini gösteren değerler ise Çizelge 3.2'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.2 HYBR prosesi ile çalışan Ekinli paket atıksu arıtma tesisi KOI giriş çıkış değerleri

	Ekinli PAT KOI Giriş (mg/l'te)	Ekinli PAT KOI Çıkış (mg/l'te)	Ekinli PAT KOI Verimi (%)
Ocak,2018	214	86	59,81
Şubat,2018	401	97	75,81
Mart,2018	181	78	56,91
Nisan,2018	202	92	54,46
Mayıs,2018	424	108	74,53
Haziran,2018	1572	59	96,25
Temmuz,2018	308	114	62,99
Ağustos,2018	665	114	82,86
Eylül,2018	660	59	91,06
Ekim,2018	626	47	92,49
Kasım,2018	348	52	85,11
Aralık,2018	371	66	82,21

HYBR'siz çalışan Hasanağa Paket Atıksu Arıtma Tesisi KOI giriş çıkış değerlerini gösteren değerler ise Çizelge 3.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.3.HYBR'siz çalışan Hasanağa paket atıksu arıtma tesisi KOİ giriş çıkış değerleri

	Hasanağa PAT KOİ Giriş (mg/l)	Hasanağa PAT KOİ Çıkış (mg/l)	Hasanağa PAT KOİ Verimi (%)
Ocak,2018	645	246	61,86
Şubat,2018	535	220	58,88
Mart,2018	547	245	55,21
Nisan,2018	595	267	55,13
Mayıs,2018	686	347	49,42
Haziran,2018	239	118	50,63
Temmuz,2018	805	351	56,40
Ağustos,2018	561	294	47,59
Eylül,2018	520	299	42,50
Ekim,2018	707	387	45,26
Kasım,2018	632	446	29,43
Aralık,2018	241	43	82,20

Ekinli ve Hasanağa Paket Atıksu Arıtma Tesisleri ile ilgili KOİ verimlilik değerleri Tablo 3.4'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.4.Ekinli ve Hasanağa Paket Atıksu Arıtma Tesisi KOİ giderim verimi

HYBR ile çalışan Ekinli Paket Arıtma Tesisinin KOİ giderim Verimi (%)	HYBR ile çalışmayan Hasanağa Paket Arıtma Tesisinin KOİ Giderim Verimi (%)
59,81	61,86
75,81	58,88
56,91	55,21
54,46	55,13
74,53	49,42
96,25	50,63
62,99	56,40
82,86	47,59
91,06	42,50
92,49	45,26
85,11	29,43
82,21	82,20

Hipotezlerimizi kuracak olur isek;

Ho: Ekinli ve Hasanağa Paket Atıksu Arıtma Tesisi verimlilik bakımından aynı verimliliğe sahiptir.

H₁: HYBR ile çalışan Ekinli Paket Atıksu Arıtma Tesisi, Hasanağa Paket Atıksu Arıtma Tesisinden daha yüksek verimlilikte çalışmaktadır.

Her iki tesisin verimlilik tespitinin ardından Çizelge 3.5'te görüldüğü üzere değerler küçükten büyüğe doğru genel dizide kaçınıcı sırada yer aldığı belirlenir.

Çizelge 3.5.Küçükten büyüğe doğru her gözlemin genel dizide kaçınıcı sırada yer aldığı belirlenir.

HS	HS	HS	HS	HS	HS	EK	HS
29,43	42,5	45,26	47,59	49,42	50,63	54,46	55,13
1	2	3	4	5	6	7	8

HS	HS	EK	HS	EK	HS	EK	EK
55,21	56,4	56,91	58,88	59,81	61,86	62,99	74,53
9	10	11	12	13	14	15	16

EK	HS	EK	EK	EK	EK	EK	EK
75,81	82,2	82,21	82,86	85,11	91,06	92,49	96,25
17	18	19	20	21	22	23	24

Ardından sıralı dizi yeniden ele alınır ve her verinin hangi örneğe ait olduğu dikkate alınarak Çizelge 3.6'da görüldüğü gibi sıralama puanları örneklere göre toplanır.

Çizelge 3.6.Yeniden ele alınan sıralı dizi her verinin hangi örneğe ait olduğunun tespitinin ardından R1 ve R2 değerleri bulunur.

HYBR ile çalışan Ekinli Paket Arıtma Tesisinin KOİ Giriş Çıkış Değerleri Verimlilik oranı (%)	Sıralama Puanı (R1)	HYBR ile çalışmayan Hasanağa Paket Arıtma Tesisinin KOİ Giriş Çıkış değerleri Verimlilikleri (%)	Sıralama Puanı (R2)
59,81	13	61,86	14
75,81	17	58,88	12
56,91	11	55,21	9
54,46	7	55,13	8
74,53	16	49,42	5
96,25	24	50,63	6
62,99	15	56,40	10
82,86	20	47,59	4
91,06	22	42,50	2
92,49	23	45,26	3
85,11	21	29,43	1
82,21	19	82,20	18
R1:	208	R2:	92

$$U_1 = n_1 \times n_2 + \frac{n_1 \times (n_1 + 1)}{2} - R_1 \quad (3.1)$$

$$U_2 = n_1 \times n_2 + \frac{n_2 \times (n_2 + 1)}{2} - R_2 \quad (3.2)$$

$n_1:12$ ve $n_2:12$ 'dir. Çünkü 12 ay üzerinden toplamda 12'şer numune olarak hesaplanmaktadır.

$$U_1 = 12 \times 12 + (12 \times (12 + 1)) / 2 - 208$$

$$U_1 = 14$$

$$U_2 = 12 \times 12 + (12 \times (12 + 1)) / 2 - 92$$

$$U_2 = 130$$

$U_1 \leq U_2$ olduğu için $U=14$ kabul edilir.

Ardından z değeri aşağıdaki formülden tespit edilir;

$$z = \frac{U - \mu_u}{\sigma_u} = \frac{U - \frac{(n_1 \times n_2)}{2}}{\sqrt{\frac{[(n_1 \times n_2) \times (n_1 + n_2 + 1)]}{2}}} \quad (3.3)$$

$$z = [14 - ((12 \times 12) / 2)] / \sqrt [(12 \times 12) \times (12 + 12 + 1)] / 12$$

$$z = - 3,38$$

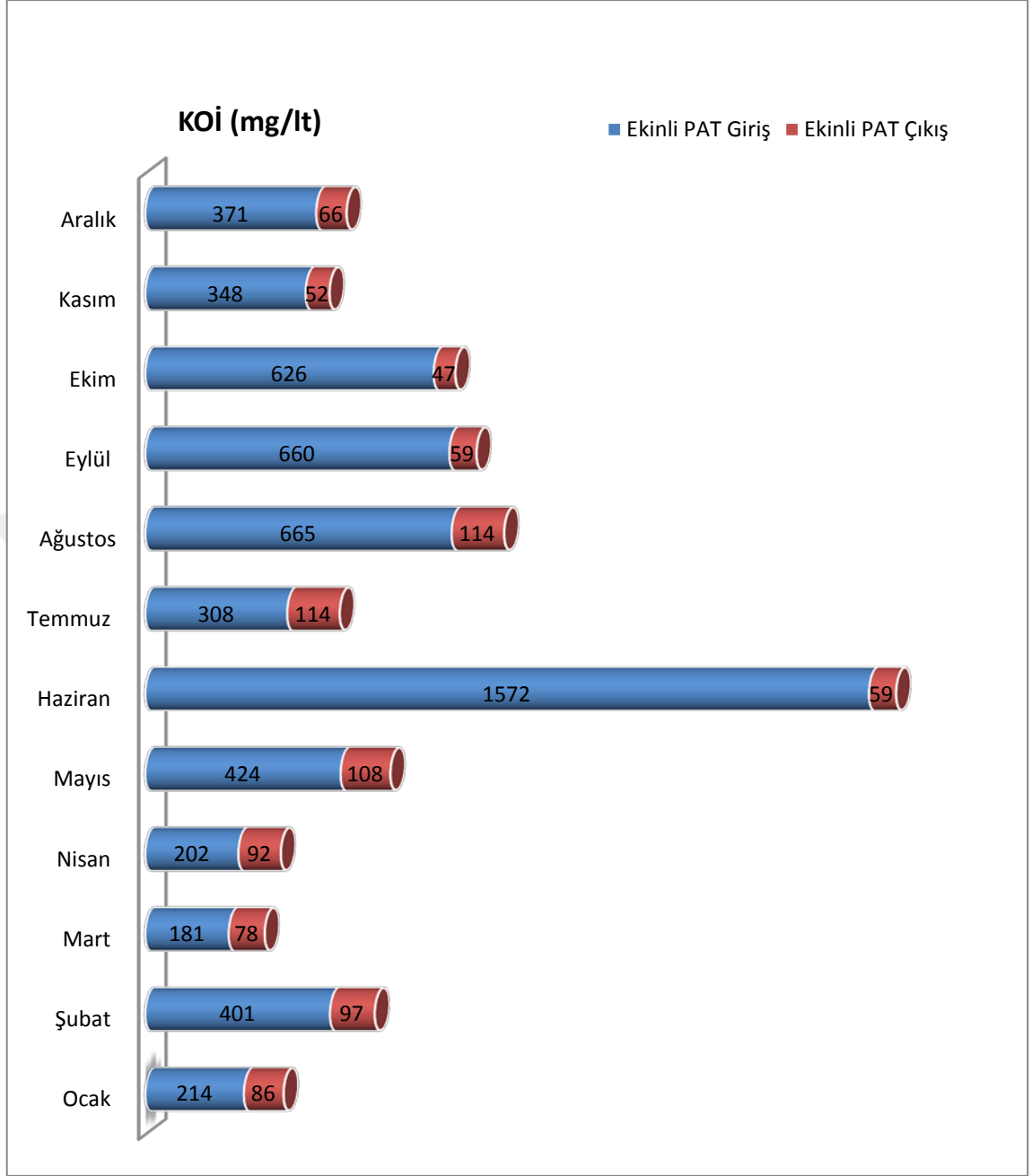
Elde edilen $z = -3,35$ değeri $|z| \geq 3,28$ olduğundan dolayı $P < 0,001$ olarak karşımıza çıkar böylece H_0 hipotezi red edilir.

Sonuç olarak HYBR ile çalışan Ekinli Paket Arıtma Tesisi, HYBR ile çalışmayan Hasanağa Paket Arıtma Tesisine göre daha verimli çalışmaktadır.

4. BULGULAR

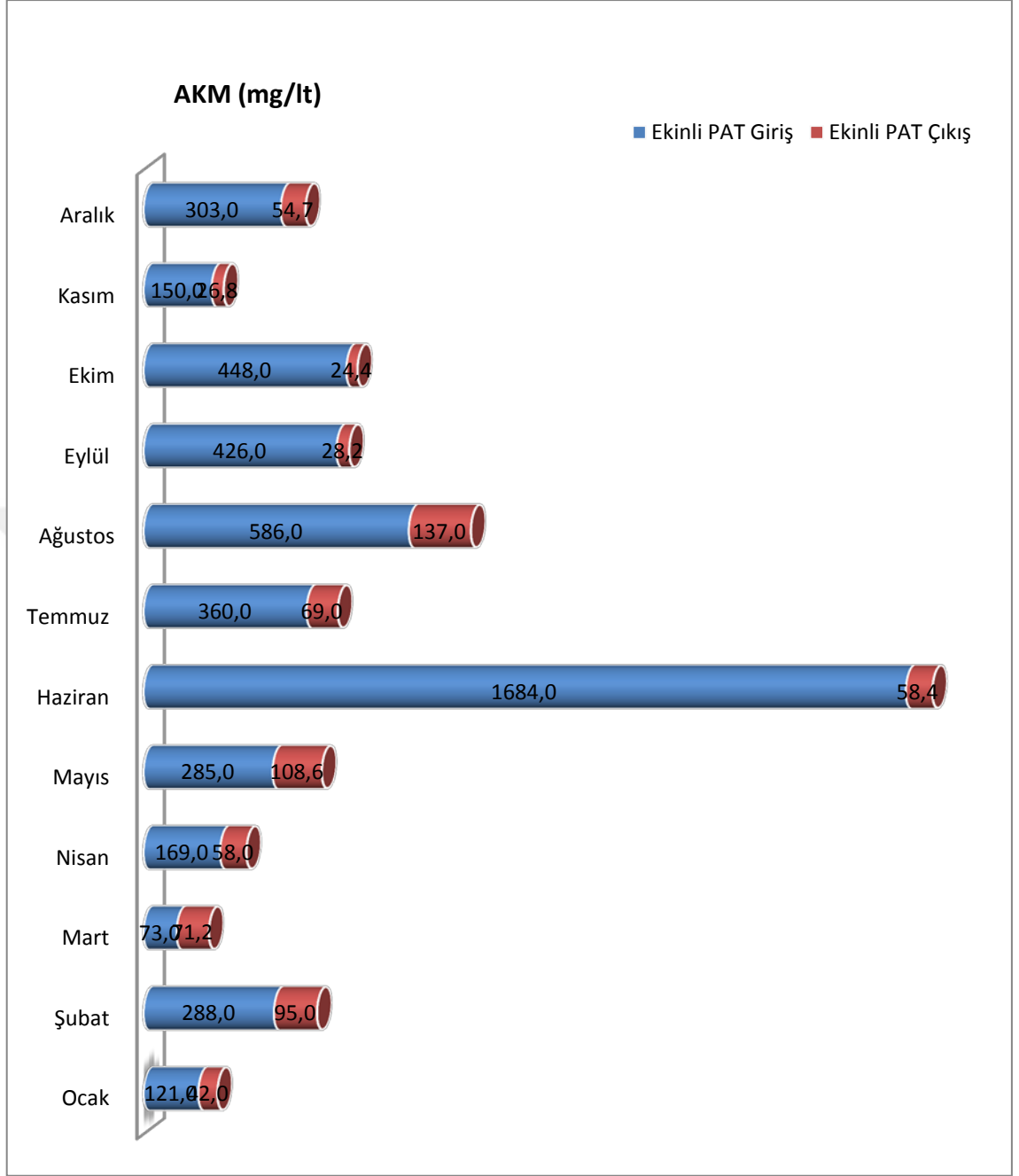
Ekinli ve Hasanağa PAT'lar ile ilgili 2018 yılı içerisinde her ay ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerde genel olarak BOİ₅, KOİ, sıcaklık, pH, iletkenlik, AKM, Toplam Azot(N), Toplam Fosfor(P) gibi değerler analiz edilmiştir. HYBR ile çalışan Ekinli Paket Atıksu Arıtma Tesisi ile HYBR bulunmayan Hasanağa Paket Atıksu Arıtma tesisleri ile ilgili 2018 yılının her ayında alınan 12 farklı numune örneğinin KOİ giriş çıkış değerleri mg/l'ten cinsinden Şekil 4.9'da görüldüğü gibidir.

Ekinli Paket Atıksu Arıtma tesisinin bulunduğu konum itibari ile kırsal kesimde olması ve PAT'ın etrafında hayvancılık ile uğraşılmasından dolayı yaz aylarında tahmin edilenin çok üzerinde hayvan dışkısı ve saman atığı tesise gelmektedir. Bu durum KOİ giriş yükünü özellikle yaz aylarında arttırmıştır. Ancak yinede çıkış suyu değerleri istenilen standart çıkış limit değerlerinin altında gözlemlenmiştir.



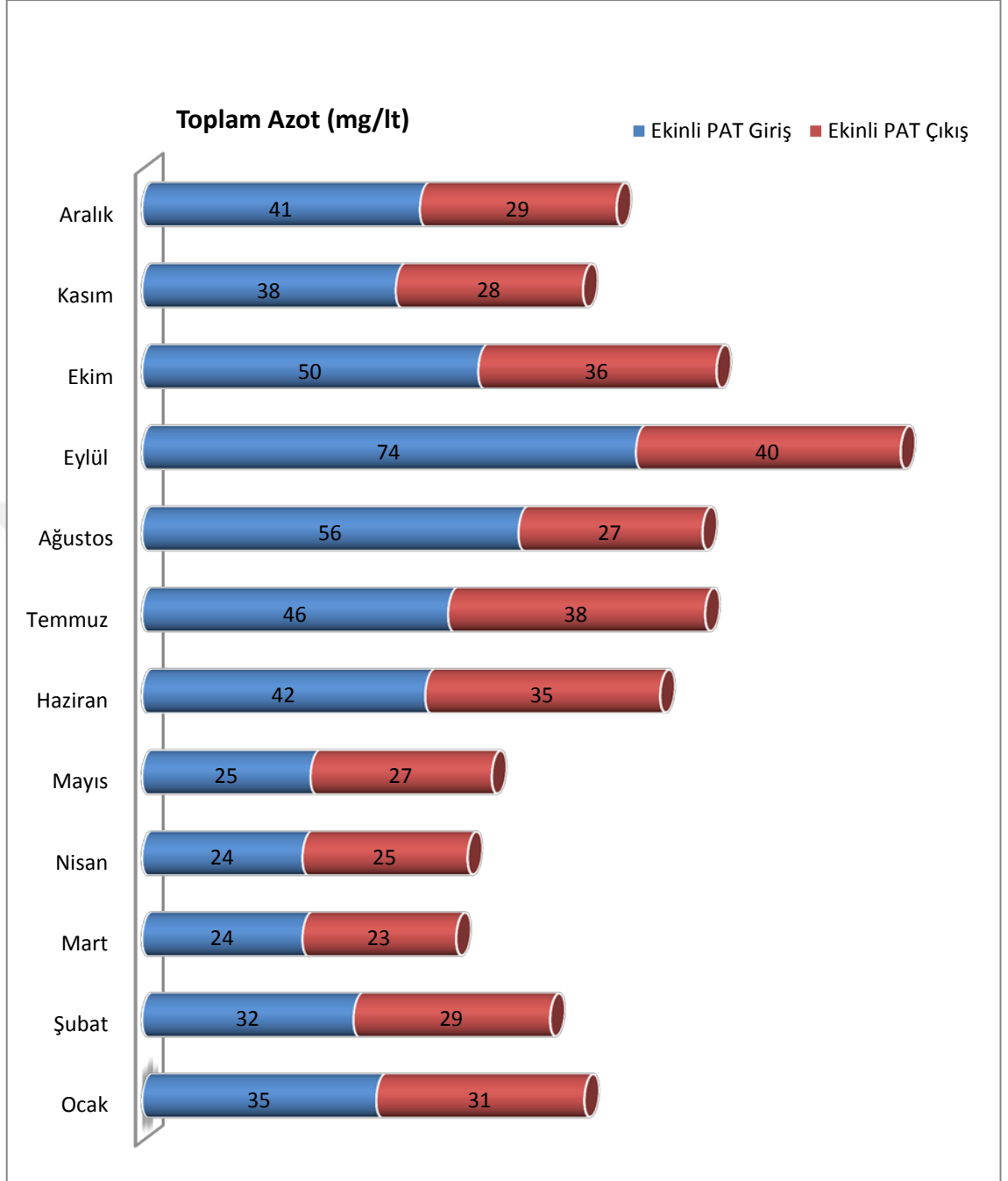
Şekil 4.1. Ekinli PAT’ın KOİ giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/l)

Ekinli PAT’ta yaz aylarında KOİ artışı gözlemlenmiştir. Bölgede dönemsel hayvancılığın artmasından kaynakları tesise giren hayvan dışkısı ve saman atıkları sebebiyle Şekil 4.1’de görüleceği gibi KOİ değerlerinde de artış saptanmıştır. Bu artış sonbahar aylarının sonuna doğru kademeli olarak azalma göstermiştir.



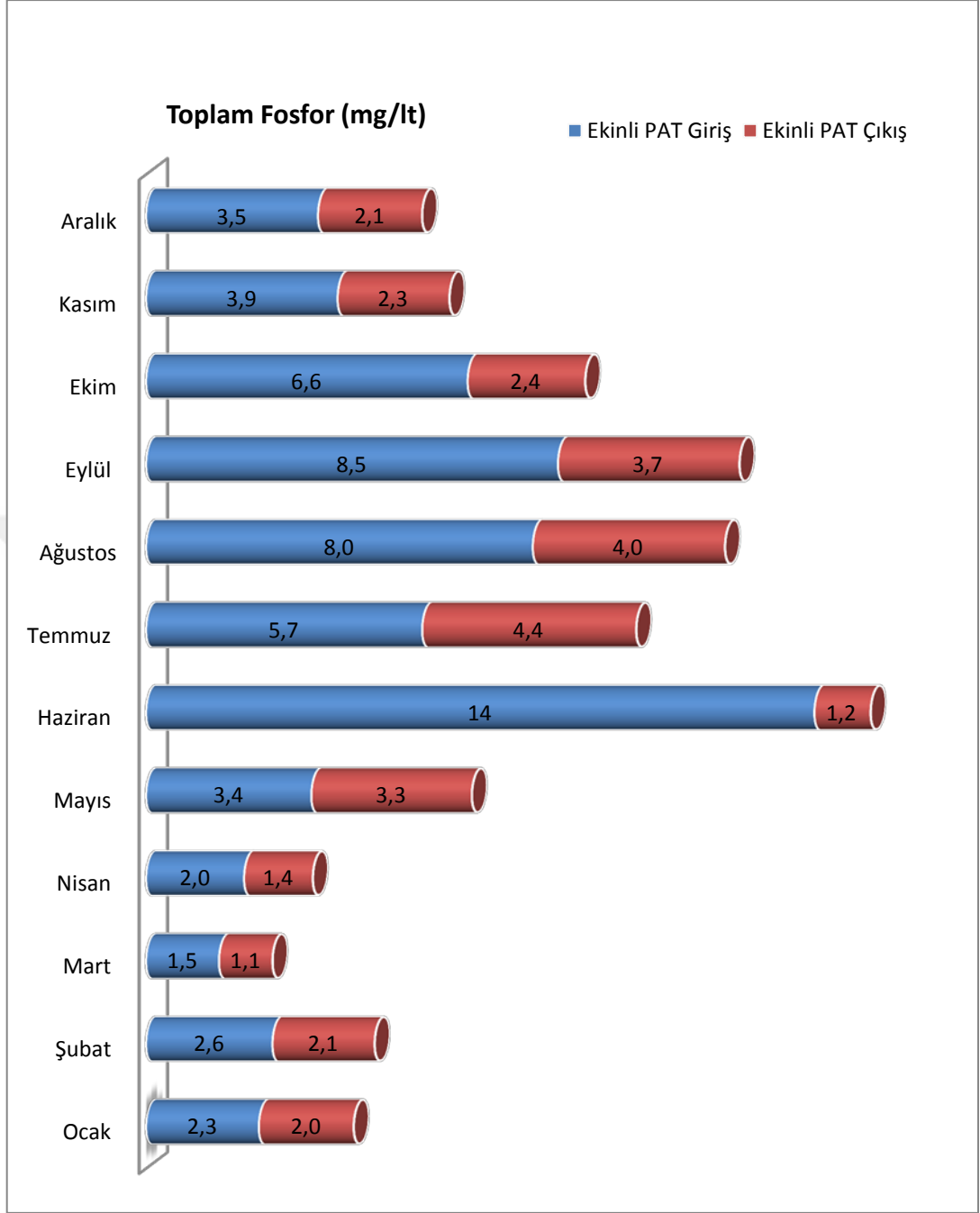
Şekil 4.2. Ekinli PAT'ın AKM giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/lt)

Ekinli PAT'ta AKM giriş konsantrasyon değerleri yaz ayları boyunca kademeli olarak artış göstermiş olup, Şekil 4.2'de görüldüğü gibi Haziran ayında en üst değerine ulaşmıştır.



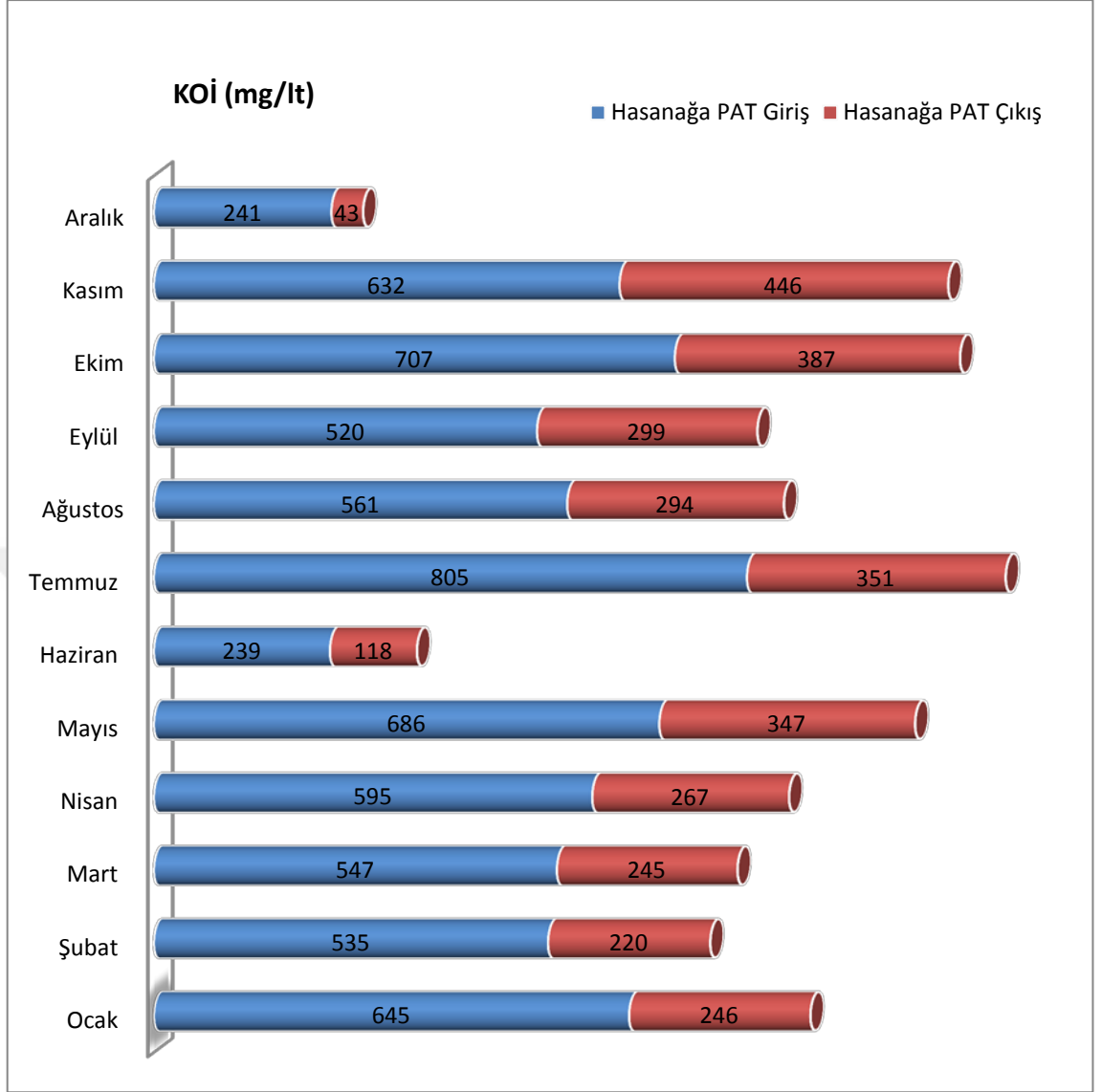
Şekil 4.3. Ekinli PAT'ın Toplam Azot giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/l)

Ekinli Paket Atıksu Arıtma Tesisinde toplam azot giriş konsantrasyon değeri Eylül ayında pik değere ulaşmıştır. Şekil 4.3'te de görüldüğü gibi kademeli olarak düşüş göstermiştir.



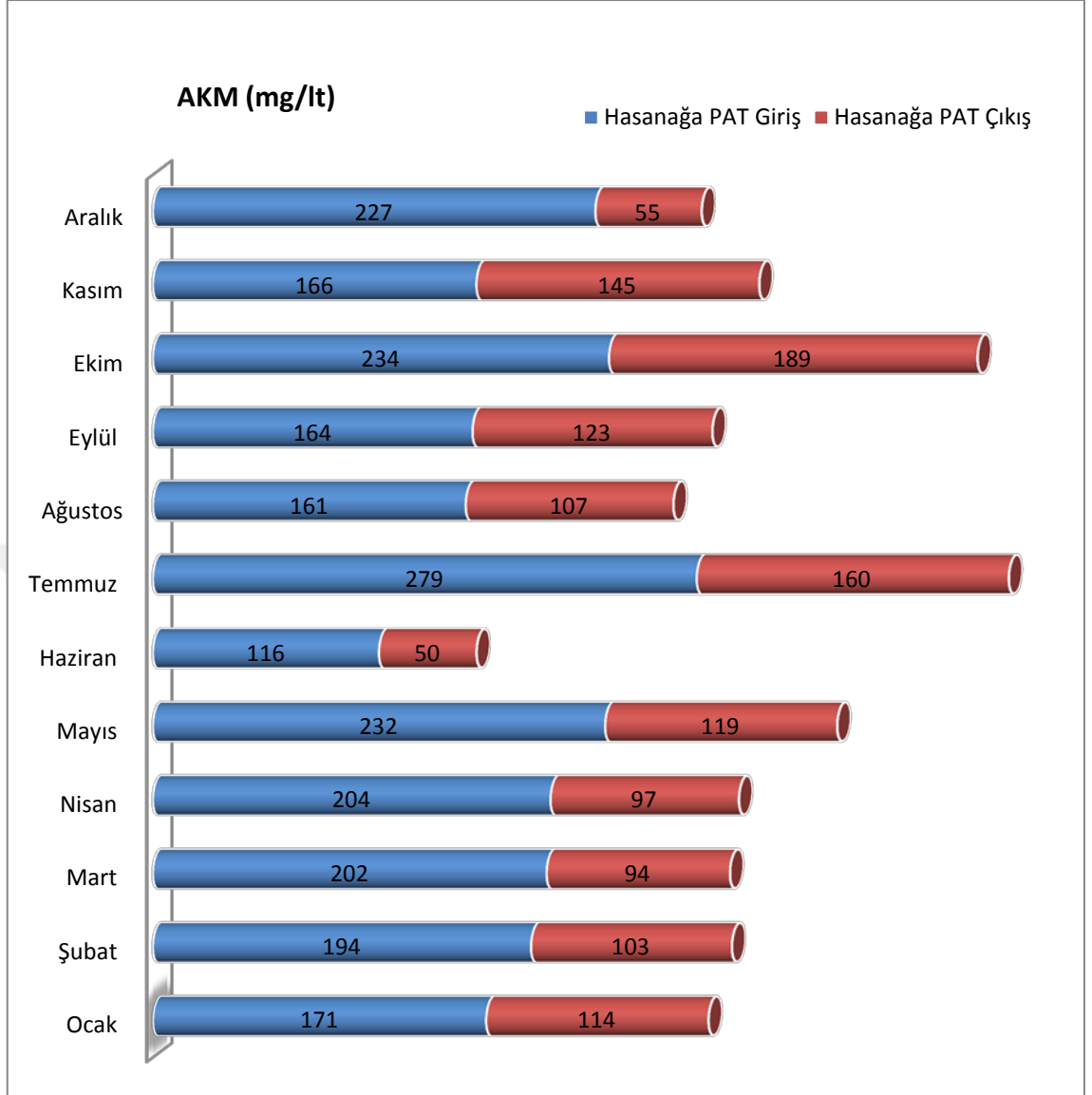
Şekil 4.4. Ekinli PAT'ın Toplam Fosfor giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/lt)

Ekinli PAT'ta yüksek seyreden giriş ve çıkış toplam fosfor konsantrasyon değerleri Şekil 4.4'te görüldüğü gibi yılın ilk yarısında düşük seyretmiştir.



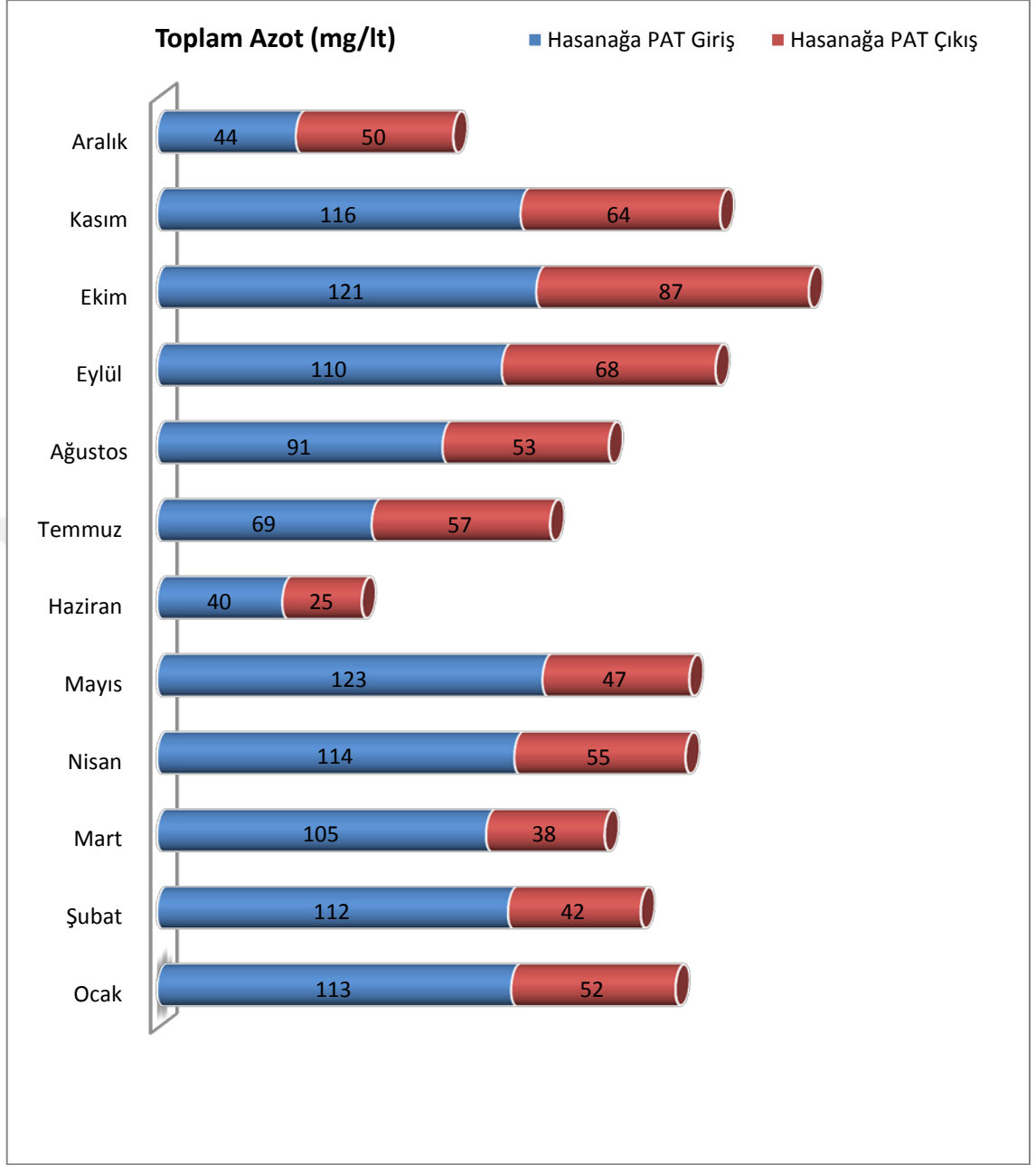
Şekil 4.5. Hasanağa PAT'a KOİ giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/l)

Hasanağa PAT'ta KOİ konsantrasyon değerleri Şekil 4.5'te görüldüğü gibi Haziran ayında düşüş gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise, Hasanağa PAT'ın konumu Hasanağa TOKİ'ye çok yakın olması ve Haziran ayı itibari ile okulların kapanması ve vatandaşların tatile çıkmasından dolayı tesise giren kirlilik yükünün ani azalması olarak tespit edilmiştir.



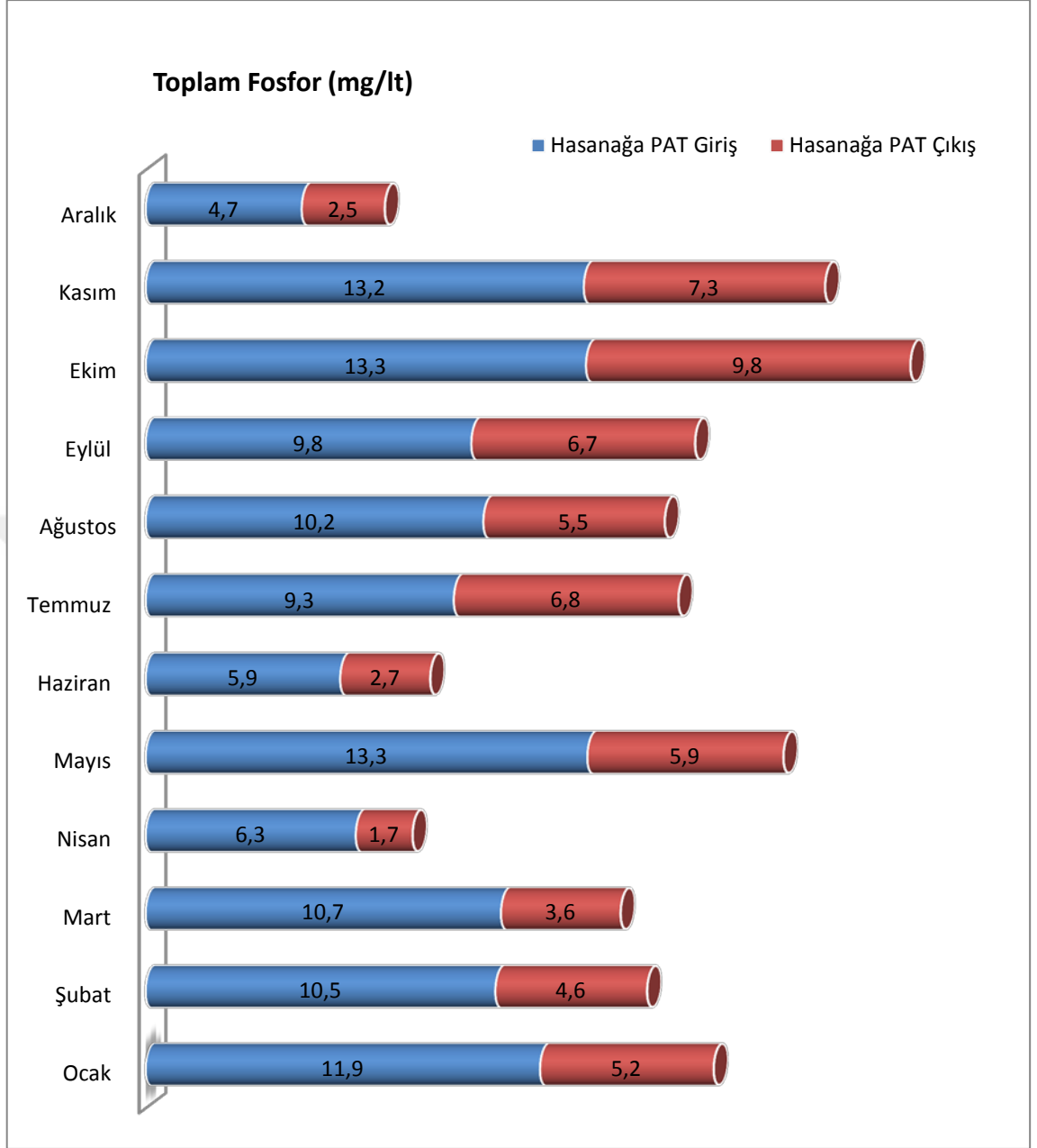
Şekil 4.6. Hasanağa PAT'ın AKM giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/lt)

Hasanağa PAT'ta yüksek seyreden giriş ve çıkış AKM konsantrasyon değerleri Şekil 4.6'da görüldüğü gibi Haziran ayında düşüş gözlemlenmiştir.



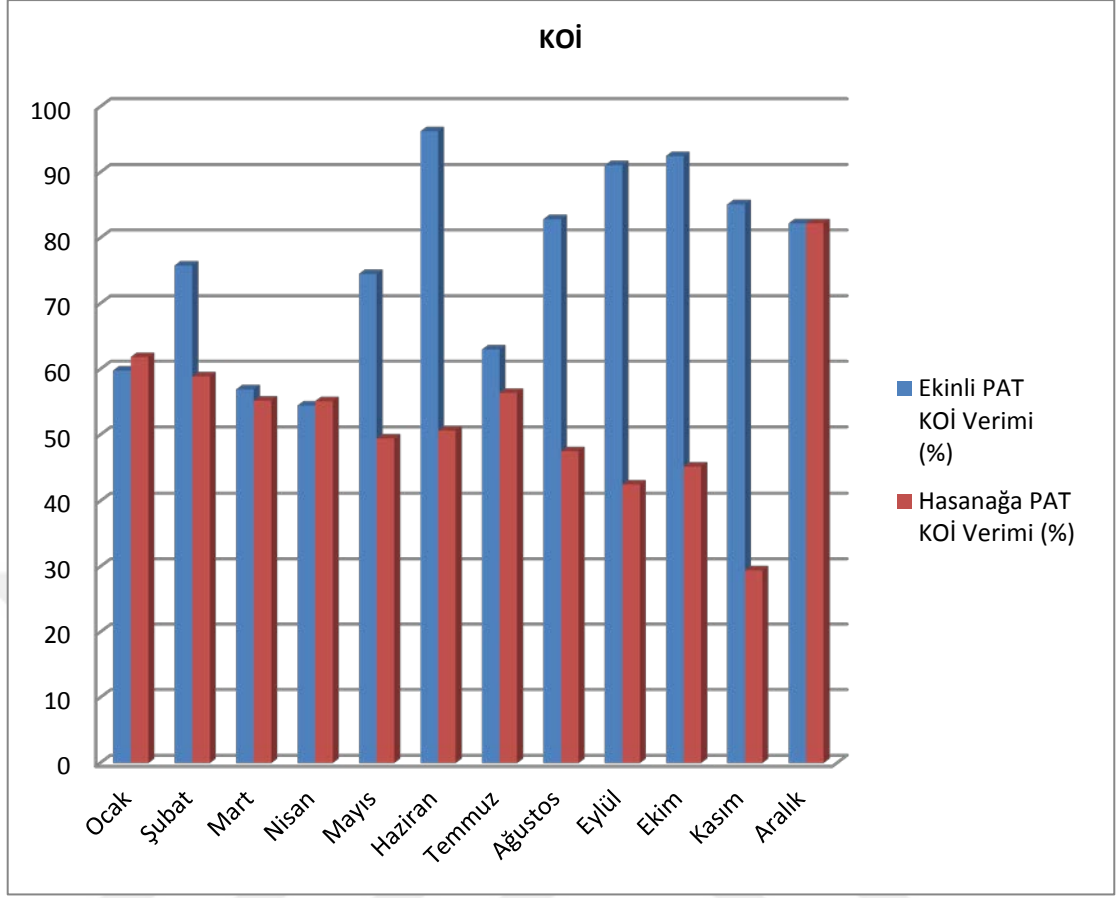
Şekil 4.7. Hasanağa PAT'ın Toplam Azot giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/lt)

Hasanağa PAT'ta Mayıs ayında Toplam Azot konsantrasyon değerinin en yüksek olduğu ay Ekim, en düşük olduğu ay ise Haziran olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. Hasanağa PAT'ın Toplam Fosfor giriş-çıkış değerlerinin aylara göre değişimi (mg/lt)

Hasanağa PAT'ta en yüksek giriş toplam fosfor konsantrasyon değerleri Ekim ve Mayıs aylarında en düşük giriş konsantrasyon değeri ise Aralık ayında saptanmıştır.



Şekil 4.9. Hasanağa PAT ve Ekinli PAT’ın KOİ giderim verimlerinin (%) aylara göre değişimi

Hasanağa ve Ekinli PAT KOİ verim değerlendirme grafiği Şekil 4.9’da belirtilmiştir. Bu duruma göre Ekinli PAT Hasanağa PAT’a göre daha yüksek KOİ verimliliğinde çalışmaktadır.

Andrettola ve ark. (2003) yapmış oldukları çalışmada %50 doluluk oranında arıtma tesisine sentetik taşıyıcı malzeme ilave etmişlerdir. Artan hidrolik ve organik yüklerden dolayı istenilen verimlilik performansı elde edemeyen aktif çamur prosesi sentetik malzeme yüklemesi sonrasında başlangıç periyodu için %78 KOİ giderimi elde edilirken kararlı konuma gelindiğinde ise %88 KOİ giderimi elde edilmiştir.

Morper ve Wildsomer (1990) mevcut atıksu arıtma tesisinde tank hacmini arttırmadan %10 ve %30 oranlarında sentetik malzeme yüklemesi yapmışlardır. En yüksek KOİ verimi %30 doluluk oranında %86 KOİ giderimi elde edilmiştir.

Broch-Due ve ark (1997) hidrolik bekleme süresinin arıtma verimine etkisini HYBR kullanarak kıyaslamışlardır. Hidrolik bekleme süresinin 4-5 saat olduğu durumda %70 sentetik malzeme doluluk oranında KOİ giderimi %65-75, BOİ giderimi ise %85-95 olmuştur. Hidrolik bekleme süresi arttırıldığında ise KOİ giderimi %80, BOİ giderimi de %96 olmuştur.

Ekinli PAT ise literatüre göre beklenenden düşük bir verimle çalışmıştır. Bunun sebebinin HYBR sistemlerinde önerilen sentetik taşıyıcı hacimsel oranının %30-50 (Zhang, 2016) arasında olmasına rağmen Ekinli PAT'a hacimsel olarak %10'luk bir HYBR sentetik taşıyıcı malzeme ilave edilmiş olması olduğu düşünülmektedir. Ekinli PAT tesisinin özellikle yaz aylarında giderim veriminin azaldığı gözlenmektedir. Verim azalması, Ekinli köyünde yaz aylarında hayvancılığın artması sonucu tesise giren organik yük artışına bağlıdır.

Yıllık atıksu analiz değerlerine göre, SSPS programı kullanılarak %95 güven aralığında ve $p < 0,001$ 'e göre gerçekleştirilen Mann Whitney U Testine göre, HYBR ile çalışan Ekinli PAT'ın, HYBR ile çalışmayan HasanağaPAT'a göre daha yüksek KOİ, AKM, Toplam Azot ve Toplam Fosfor giderim verimine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar da , literatürde önerildiği şekilde (Hvala ve ark., 2002), benzer yerleşim birimlerinde atıksu arıtma sistemlerinin verimliliğinin arttırılması için klasik aktif çamur sistemi yerine HYBR prosesi kullanımının tercih edilmesi gerektiğini doğrulamaktadır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

HYBR sisteminin uygulanması paket atıksu arıtma tesisleri için güzel sonuçlar vermektedir. Arıtılmış atıksuyun kalitesi deşarj edilmiş atık su için belirlenmiş yönetmeliklere uygundur. HYBR uygulanan aktif çamur tesisleri, benzer özellikteki yerleşim birimlerinde klasik aktif çamur ünitelerine göre daha yüksek oranda verim sağlamaktadır. Klasik aktif çamur sistemlerinde, sentetik taşıyıcı ilavesi ile ek arazi gerekmeden HYBR modifikasyonu gerçekleştirilerek organik karbon, azot ve fosfor giderim verimi artışı sağlanır. HYBR’de kullanılan sentetik taşıyıcı malzeme uzun süre kullanıma uygun olduğundan gerektiği zamanda kolay bir şekilde temizlenebilmektedir. Bu sentetik taşıyıcıların farklı sistemlere kolayca entegre olabilmeleri mümkündür. Ekinli Paket Atıksu Arıtma Tesisinin bulunduğu konum nedeniyle, dönemsel olarak tahmin edilenin üzerinde hayvan dışkısı ve saman atığı tesise gelmektedir. Bu çalışmada izlemenin gerçekleştirildiği dönemde mevcut paket atıksu arıtma ünitesine hacimsel olarak %10 oranında sentetik taşıyıcı malzeme yüklenmesine %75-80 civarında KOİ giderimi elde edilmiştir. HYBR’de sentetik taşıyıcı malzeme uygulama oranı hacimsel olarak %30’a yükseltildiğinde, KOİ gideriminin %90-95’lere ulaşması beklenmektedir. Ayrıca bu çalışma ile birlikte sentetik taşıyıcı malzemelerin yüzey alanları ne kadar arttırılırsa okadar yüzeyde tutunan biyofilm tabakasının inceleyeceği ve oksijenin en derin katmanlara kadar ulaşabileceği sonucuna varmaktayız. Böylece farklı tipte ve farklı yüzey alanlara sahip sentetik taşıyıcı malzemelerin kullanılması durumunda verim artışının olacağı tespit edilmiştir. Ayrıca bu yöntemin atıksu arıtma sektörü için alternatif bir yöntem olduğu da ortaya konulmuştur. Artan nüfus ve atıksu debisine karşılık yeni bir atıksu arıtma tesisi inşa etmeden, sentetik taşıyıcı malzemeler kullanılarak hareketli yataklı biyofilm sistemleri klasik aktif çamur sistemlerine kolayca entegre edilerek, arıtma verimi arttırılabilmektedir. Özellikle ömrünü tamamlamak üzere olan veya tam kapasite çalışan atıksu arıtma tesislerinde öncelikle kullanılmaya başlanmalıdır. Ülkemizde yapılan pilot ölçekli deneme çalışmaları, yakın gelecekte belediyelerin büyük ölçekli evsel atıksu arıtma tesisleri veya endüstri bölgelerinde bulunan organize sayani atıksu arıtma tesislerinde de kullanımı yaygınlaşacaktır.

KAYNAKLAR

- Ahmed, S., Rozaik, E., Abdelhalim, H., 2016.** Performance of single-chamber microbial fuel cells using different carbohydrate-rich wastewaters and different inocula. *Pol. J. Environ. Stud.* 25: 503-510
- Alpkvist, E., Bengtsson, J., Overgaard, N.C., Christensson, M. & Heyden, A. 2007.** Simulation of nitrification of municipal wastewater in a Moving Bed biofilm process: a bottom-up approach based on a 2D-continuum model for growth and detachment. *Water Science & Technology* 55(8-9): 247–255.
- Andreottola, G., Fladori, P., Ragazzi, M., 2000.** Upgrading Of A Small Wastewater Treatment Plant In A Cold Climate Region Using A Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) System *Water Science and Technology* 41(1) : 177-185
- Anon., 2014.** Regulation of the Minister of Environment of 18 November 2014 establishing conditions to be met for wastewater discharged into water or ground and on substances particularly harmful to the aquatic environment. *J. Laws* 1800. assessment of kinetic and stoichiometric parameters on MBBR biofilm for municipal wastewater treatment. *Environ. Model. Softw.* 25: 626-632.
- Apha (1998)** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC.
- Barwal, A., Chaudhary, R., 2014.** To study the performance of biocarriers in moving bed biofilm reactor (MBBR) technology and kinetics of biofilm for retrofitting the existing aerobic treatment systems: a review. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 13: 285-299.
- Beyenal, H. & Lewandowski, Z. 2002.** Internal and External Mass Transfer in Biofilms Grown at Various flow velocities. *Biotechnology Progress* 18(1): 55–61.
- Boltz, J.P. & Daigger, G.T. (2010).** Uncertainty in bulk-liquid hydrodynamics and biofilm dynamics creates uncertainties in biofilm reactor design. *Water Science & Technology* 61(2): 307–316.
- Bonomo, L., Pastorelli, G., Quinto, E. & Rinaldi, G. 2000.** Tertiary nitrification in pure oxygen moving bed biofilm reactors. *Water Science & Technology* 41(4-5): 361–368.
- Borghei, S.M. & Hosseini, S.H. 2004.** The treatment of phenolic wastewater using a moving bed biofilm reactor. *Process Biochemistry* 39: 1177–1181.
- Borghei, S.M., Hosseini, S.H., 2004.** The treatment of phenolic wastewater using a moving bed biofilm reactor. *Process Biochem.* 39: 1177-1181.
- Christensson, M. & Welander, T. 2004.** Treatment of municipal wastewater in a hybrid process using a new suspended carrier with large surface area. *Water Science & Technology* 49(11-12): 207–214.
- Daude, D., Stephenson, T., 2003.** Moving Bed Biofilm Reactors: A Small-Scale Treatment Solution. *Water Science and Technology* 48(11-12) : 251-257
- Di Trapani, D., Mannina, G., Torregrossa, M., Viviani, G., 2010.** Comparison between *Eng. J.* 77: 214-219.
- Feng, Q., Wang, Y., Wang, T., Zheng, H., Chu, L., Zhang, C., Chen, H., Kong, X., Xing, X.-H. 2012.** Effects of packing rates of cubic-shaped polyurethane foam carriers on the microbial community and the removal of organics and nitrogen in moving bed biofilm reactors. *Bioresource Technology* 117: 201–207.

- Gapes, D.J. & Keller, J. 2009.** Impact of oxygen mass transfer on nitrification reactions in suspended carrier reactor biofilms. *Process Biochemistry* 44(1): 43–53.
- Gieseke, A., Bjerrum, L., Wagner, M. & Amann, R. 2003.** Structure and activity of multiple nitrifying bacterial populations co-existing in a biofilm. *Environmental microbiology* 5(5): 355–369.
- Hansen, E., Zadura, L., Frankowski, S., Wachowicz, M., 1999.** Upgrading Of An Activated Sludge Plant With Floating Biofilm Carriers At Frantschach Swiecie S. A. To Meet The New Demands Of Year 2000. *Water Science and Technology* 40(11-12) : 207 – 214
- Hem, L.J., Rusten, B. & Ødegaard, H. 1994.** Nitrification in a moving bed biofilm reactor. *Water Research* 28(6): 1425–1433.
- Henze, M., Loosdrecht, M., van, Ekama, G., Brdjanovic, D., 2008.** Organic Material removal., *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*. IWA publishing.
- Herrling, M.P., Guthausen, G., Wagner, M., Lackner, S. & Horn, H. 2015.** Determining the flow regime in a biofilm carrier by means of magnetic resonance imaging. *Biotechnology and bioengineering* 112(5): 1023–1032.
- Hibiya, K., Nagai, J., Tsuneda, S. & Hirata, A. 2004.** Simple prediction of oxygen penetration depth in biofilms for wastewater treatment. *Biochemical Engineering Journal* 19(1): 61–68.
- Horn, H. & Hempel, D.C. 1995.** Mass Transfer Coefficients for an Autotrophic and a heterotrophic biofilm system. *Water Science & Technology* 32(8): 199–204.
- Horn, H. & Morgenroth, E. 2006.** Transport of oxygen, sodium chloride, and sodium nitrate in biofilms. *Chemical Engineering Science* 61(5): 1347–1356.
- Horn, H., Reiff, H. & Morgenroth, E. 2003.** Simulation of growth and detachment in biofilm systems under defined hydrodynamic conditions. *Biotechnology and Bioengineering* 81(5): 607–617.
- Hvala, N., Vrecko, D., Burica, O., Strazar, M., Levstek M., 2002.** Simulation Study Supporting Wastewater Treatment Plant Upgrading *Water Science and Technology* 46(4-5) : 325-332
- Javid, A.H., Hassani, A.H., Ghanbari, B. & Yaghmaeian, K. 2013.** Feasibility of Utilizing Moving Bed Biofilm Reactor to Upgrade and Retrofit Municipal Wastewater Treatment Plants. *Int. J. Environ. Res.* 7(4): 963–972.
- Jiang, Q., Ngo, H.H., Nghiem, L.D., Hai, F.I., Price, W.E., Zhang, J., Liang, S., Deng, L., Guo, W., 2017.** Effect of hydraulic retention time on the performance of a hybrid moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor system for micropollutants removal from municipal wastewater. *Bioresour. Technol.* Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquac. Eng.* 34: 322-331
- Lewandowski, Z., Beyenal, H. & Stookey, D. 2004.** Reproducibility of biofilm processes and the meaning of steady state in biofilm reactors. *Water Science & Technology* 49(11-12): 359–364.
- Leyva-Díaz, J.C., Martín-Pascual, J., Poyatos, J.M., 2017.** Moving bed biofilm reactor to treat wastewater. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 14: 881-910
- Li, C., 2004.** Dynamic Variations of Carbonaceous and Nitrifying Activities In Hybrid Reactors With Different Operating Conditions. *Ph.D. Thesis*. Hon Kong University of Science and Technology, Hon Kong.
- Li, C., Felz, S., Wagner, M., Lackner, S. & Horn, H. 2016a.** Investigating biofilm structure developing on carriers from lab-scale moving bed biofilm reactors

based on light microscopy and optical coherence tomography. *Bioresource technology* 200: 128–136.

Lopez-Lopez, C., Martín-Pascual, J., Gonzalez-Martínez, A., Calderon, K., Gonzalez-Lopez, J., Hontoria, E., Poyatos, J.M., 2012. Influence of filling ratio and carrier type on organic matter removal in a moving bed biofilm reactor with pretreatment of electrocoagulation in wastewater treatment. *J. Environ. Sci. Heal. -Part A Toxic/Hazardous Subst. Environ. Eng.* 47: 1759-1767

Masic, A., Bengtsson, J., Christensson, M. & Masic, A. 2010. Measuring and modeling the oxygen profile in a nitrifying Moving Bed Biofilm Reactor. *Math Biosci* 227(1):1–11.

Maurer, M., Fux, C., Graff, M., Siegrist, H., 2001. Moving-Bed Biological Treatment (MBBT) Of Municipal Wastewater: Denitrification. *Water Science and Technology* 43(11) : 337-344

McQuarrie, J.P. & Boltz, J.P. 2011. Moving Bed Biofilm Reactor Technology: Process Applications, Design, and Performance. *Water Environment Research* 83(6): 560–575.

Metcalf & Eddy, 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Fourth Edition, McGraw-Hill International Editions.

Morgenroth, E. & Wilderer, P.A. 2000. Influence of detachment mechanisms on competition in biofilms. *Water Research* 34(2): 417–426.

Ødegaard, H. 1999. The Moving Bed Biofilm Reactor. In Igarashi, T., Watanabe, Y., Asano, T. and Tambo, N.: *Water Environmental Engineering and Reuse of Water*. Hokkaido Press.

Ødegaard, H., 2006. Innovations in wastewater treatment: the moving bed biofilm process. *Water Sci. Technol.* 53: 17-33

Ødegaard, H., Gisvold, B. & Strickland, J. 2000. The influence of carrier size and shape in the moving bed biofilm process. *Water Science & Technology* 41(4-5): 383–391.

Ødegaard, H., Rusten, B. & Westrum, T. 1994. A new moving bed biofilm reactor - applications and results. *Water Science & Technology* 29(10-11): 157–165.

Ødegaard, H., Rusten, B., Badin, H., 1993. Small Wastewater Treatment Plants Based On Moving Bed Biofilm Reactors. *Water Science and Technology* 28 (10) : 351-359

Okabe, S., Hiratia, K., Watanabe, Y., 1995 Dynamic Changes In Spatial Microbial Distribution In Mixed-population Biofilms: Experimental Results And Model Simulation. *Water Science and Technology* 32(8) : 67-74

Orantes, J.C. and Gonzalez-Martinez, S., 2002. A New Low-Cost Biofilm Carrier For The Treatment Of Municipal Wastewater In A Moving Bed Reactor. 5th Specialised Conference On Small Water And Wastewater Treatment Systems, Istanbul-Turkey, 24-26 September 2002 penetration depth in biofilms for wastewater treatment. *Biochemical Engineering Journal* 19(1): 61–68.

Quan, Yuxiao W, Tianmin W, Hao Z, Libing C, Chong Z, Hongzhang C, Xiuqin K, Xin Hui X, 2012. Effects of packing rates of cubic shaped polyurethane foam carriers on the microbial community and the removal of organics and nitrogen in moving bed biofilm reactors. *Bioresour Technol* 2012 117:201–7.

Robertson, S.R. & McLean, R.J.C. 2015. Beneficial biofilms. *AIMS Bioengineering* 2(4):437–448.

Rosso, D., Jeung, M.K., Lothman, S.E., Stone, A.L., Pitt, P., Gellner, W.J. & Howard, D. 2011. Oxygen transfer and uptake, nutrient removal, and energy footprint

of parallel full-scale IFAS and activated sludge processes. *Water Research* 45(18):5987–5996.

Rusten, B., Ødegaard, H. & Lundar, A. 1992. Treatment of dairy wastewater in a novel moving bed biofilm reactor. *Water Science & Technology* 26(3-4): 703–711.

Samsunlu, A., 2011. Atıksuların Arıtılması, Birsen Yayınevi, İstanbul, 652s.

Schramm, A., Larsen, L.H., Revsbech, N.P., Ramsing, N.B., Amann, R. & Universita, T. 1996. Structure and Function of a Nitrifying Biofilm as Determined by In Situ Technology 29(10-11): 263–270.

Toprak, H., 2000a. Aktif Çamur Sürecinin İşletilmesi, Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi İzmir.

Toprak, H., 2000b. Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları, Cilt-1, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.

Üstün, G.E., Akal-Solmaz, S.K., 2008. Atıksuların Geri Kazanımı Ve Tarımsal Sulama İçin Tekrar Kullanımının Değerlendirilmesi, Su Tüketimi, Arıtma, Yeniden Kullanımı, Sempozyumu, 3-5 Eylül, Bursa

Van Loosdrecht, M., Eikelboom, D., Gjaltema, A., Mulder, A., Tjihuis, L. & Heijnen, J.J. 1995. Biofilm structures. *Water Science & Technology* 32(8): 35–43.

Van Loosdrecht, M.C.M., Picioreanu, C. & Heijnen, J.J. 1997. A more unifying hypothesis for biofilm structures. *FEMS Microbiology Ecology* 24(2): 181–183.

Wang, X. J., Xia, S. Q., Chen, L., Zhao, L. F., Renault, N. J., Chovelon, J. M., 2006 Nutrients Removal From Municipal Wastewater By Chemical Precipitation In A Moving Bed Biofilm Reactor. *Process Biochemistry* 41: 824–828

Zhang, T.C., Fu, Y.C. & Bishop, P.L. 1994. Competition in biofilms. *Water Science & Technology* 29(10-11): 263–270.

Zhang, T.C., Fu, Y.-C. & Bishop, P.L. 1995. Competition for substrate and space in biofilms. *Water Environment Research* 67(6): 992–1003.

Zhang, X., Chen, X., Zhang, C., Wen, H., Guo, W., Ngo, H.H., 2016. Effect of filling fraction on the performance of sponge-based moving bed biofilm reactor. *Bioresource Technol.* 219: 762–767

Zhu, Y., Zhang, Y., Ren, H.-Q., Geng, J.-J., Xu, K., Huang, H. & Ding, L.-L. 2015. Physicochemical characteristics and microbial community evolution of biofilms during the start-up period in a moving bed biofilm reactor. *Bioresour. Technol.* 180: 345–351.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : KEREM ERDİNÇ
Doğum Yeri ve Tarihi : OSMANGAZİ / BURSA – 07.10.1991
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : AHMET VEFİK PAŞA ANADOLU LİSESİ
Lisans : SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
Yüksek Lisans : ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : ÜÇBEYLER ALTYAPI ARITMA A.Ş. (2014-)

İletişim (e-posta) : keremerdinc@windowlive.com

Yayınları :